



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

PENGARUH PERBANDINGAN LUAS AREA TARGET DAN TEKANAN GAS NITROGEN PADA PROSES PVD TERHADAP SIFAT *ANTIMICROBIAL* LAPISAN TIPIS AgCu

MAULANA MALIK SADIQUN
NRP. 2713 100 106

Dosen Pembimbing :
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH PERBANDINGAN LUAS AREA
TARGET DAN TEKANAN GAS NITROGEN
PADA PROSES PVD TERHADAP SIFAT
ANTIMICROBIAL LAPISAN TIPIS AgCu**

**MAULANA MALIK SADIQUN
NRP 2713 100 106**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.
Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT- TL 141584

**EFFECT OF MATERIAL TARGET
SURFACE AREA RATIO AND NITROGEN
PRESSURE IN PVD ON ANTIMICROBIAL
PROPERTIES AgCu THIN FILM**

**MAULANA MALIK SADIQUN
NRP 2713 100 106**

Advisors :

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono

**DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI – ITS

**PENGARUH PERBANDINGAN LUAS AREA
TARGET DAN TEKANAN GAS NITROGEN PADA
PROSES PVD TERHADAP SIFAT *ANTIMICROBIAL*
LAPISAN TIPIS AgCu**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Insititut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
MAULANA MALIK SADIQUN
NRP. 2713100106

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng. (Pembimbing I)

Amaliya Rasyida, S.T, M.Sc. (Pembimbing II)

Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmomo (Pembimbing III)





(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



Pengaruh Perbandingan Luas Area Target dan Tekanan Gas Nitrogen Pada Proses PVD Terhadap Sifat *Antimicrobial* Lapisan Tipis AgCu

Nama : Maulana Malik Sadiquin
NRP : 2713100106
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T, M.Sc.
Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono

ABSTRAK

Antimicrobial merupakan sifat yang terdapat pada beberapa logam mulia seperti; perak (Ag), emas (Au), atau tembaga (Cu), yang memiliki kemampuan menghambat perkembangan bakteri. Stainless Steel 316L biasa digunakan sebagai bahan implan atau Orthopedics karena memiliki ketahanan korosi yang kuat, akan tetapi material ini kurang mampu menghambat pertumbuhan bakteri pada permukaannya, sehingga tidak memiliki sifat antimicrobial. Oleh karena itu dibutuhkan bahan yang memiliki sifat antimicrobial untuk dilapiskan pada permukaan bahan tersebut.

Pada penelitian ini, digunakan logam Ag dan material Antimicrobial yang lain (Cu) untuk dijadikan material target pada proses pembentukan lapisan tipis dengan metode Physical Vapour Deposition (PVD). Metode Mozaik telah digunakan untuk menggabungkan kedua material tersebut agar dapat terdeposisi ke substrat menjadi lapisan tipis. Variasi perbandingan luas area target Ag:Cu (60:40, 70:30, 80:20) dan variasi penambahan gas Nitrogen ($0,5 \times 10^{-2}$ mbar, 1×10^{-2} mbar, $1,5 \times 10^{-2}$ mbar) dilakukan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat antimicrobial lapisan tipis Ag-Cu. SEM-EDX, XRD, AFM, kekuatan adhesi, dan kemampuan antimicrobial secara in vitro dilakukan untuk karakterisasi lapisan tipis.



Perbandingan luas area target Ag:Cu menyebabkan perubahan pada komposisi lapisan tipis AgCu. Komposisi Ag paling besar didapatkan pada perbandingan luas area target Ag:Cu (80:20). Peningkatan komposisi Ag menyebabkan kemampuan antimicrobial meningkat pada lapisan tipis AgCu. Penambahan tekanan gas Nitrogen mempengaruhi kekasaran pada lapisan tipis AgCu. Meningkatnya tekanan gas Nitrogen menyebabkan kekasaran pada lapisan tipis menurun. Kekasaran permukaan mempengaruhi wettability pada lapisan tipis AgCu. Kemampuan antimicrobial paling baik didapatkan dengan penambahan tekanan gas Nitrogen optimal (1×10^{-2} mbar) pada proses PVD.

Kata kunci : *Antimicrobial, Lapisan Tipis, Physical Vapour Deposition, Orthopedics.*



Effect of Material Target Surface Area Ratio and Nitrogen Pressure in PVD on Antimicrobial Properties Ag-Cu Thin Film

Name : Maulana Malik Sadiquin
NRP : 2713100106
Departmen : Material Engineering
Advisors : Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng.
Amaliya Rasyida, S.T, M.Sc.
Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono

ABSTRACT

Antimicrobial properties can prevent bacterial adhesion. It can be found on noble metal like Silver (Ag), Gold (Au), or Copper (Cu). Ag has historic performance in medicine due to its powerful microbial activity. Stainless Steel 316L is widely used for implant such as orthopedics implant because its excellent properties to prevent corrosion, but microbial could be exist on its surface because it does not have antimicrobial properties. Material with antimicrobial properties is needed as thin film on its surface to prevent bacterial adhesion.

In this research, Ag and Cu were used to become material target in thin film deposition process, Physical Vapour Deposition (PVD). Mosaic method was used to combine the materials which then deposited on the surface of substrate. Material target surface area ratio, Ag:Cu (60:40, 70:30, 80:20) and Pressure variable of Nitrogen gas ($0,5 \times 10^{-2}$ mbar, 1×10^{-2} mbar, $1,5 \times 10^{-2}$ mbar) were used to determine their effect to antimicrobial properties of thin film Ag-Cu. SEM- EDX, XRD, AFM, Adhesion Test, and Antimicrobial Test in vivo were used to characterize the thin film.

Material target surface area ratio influences percentage composition of AgCu thin film. Highest Percentage of Ag Composition obtained by material target surface area with ratio



Ag:Cu (80:20). Addition of Nitrogen pressure influences roughness of AgCu thin film. Increasing Nitrogen pressure would decrease roughness of AgCu thin film. Surface roughness affects wettability of Ag-Cu thin film. In this research, good antimicrobial properties was produced by optimum Nitrogen pressure (1×10^{-2} mbar) in PVD process.

Keywords : *Antimicrobial, Thin Film, Physical Vapour Deposition, Orthopedics.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Perbandingan Luas Area Target dan Tekanan Gas Nitrogen Pada Proses PVD Terhadap Sifat Antimicrobial Lapisan Tipis AgCu”**.

Sholawat serta salam tidak lupa penulis haturkan keharibaan Rasulullah Mahammad SAW, keluarga serta para sahabatnya yang senantiasa turut berjuang di jalan Allah SWT.

Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih pada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya
2. Kedua orang tua tercinta atas dukungan moriil dan materiil yang luar biasa.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng , selaku dosen pembimbing I yang telah sabar dalam memberikan bimbingan dan arahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc, selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan nasihat.
5. Prof. Dr. rer.nat. Tri Mardji Atmono, selaku pembimbing III yang telah memberikan ilmu dan kesempatan untuk preparasi lapisan tipis AgCu di BATAN, Yogyakarta.
6. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir serta seluruh dosen dan staff karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
7. Keluarga HMMT dan MT 15



8. Ilmi Mayuni Bumi selaku sahabat seperjuangan dari maba, telah menemani memotivasi, dan menyemangati penulis selama kuliah dan semangat mengerjakan TA.
9. Bima dan Rangga selaku teman sekontrakan penulis sebelumnya, yang menemani penulis jalan-jalan dan berkeluh kesah.
10. Tutut, Yudhis, Hana, dan Peter yang telah sabar untuk menjadi teman seperjuangan TA *orthopedics mania*
11. Ikiw, Igfar, Fikri Adhi, dan Kresna selaku teman seperjuangan untuk menemani penulis main biliyard, kalian jago-jago, mantap.
12. Cebunk, Rizal, Ayu, Nia, Badi, Suju, Aghny, Adhiyaksa, Naufal Iqbal yang dengan sabar menerima penulis menjadi pasukan TA di lab Korosi dan Analisa Kegagalan.
13. Keluarga kecil INDOCOR ITS SC 2015/16 dan 2016/17 atas semua dedikasi, cerita, pengalaman, dan semua pembelajaran tentang organisasi yang diberikan.
14. Keluarga Hubungan Luar BEM ITS 2014/15 atas semua pembelajaran dan pengalaman tentang perjuangan yang diberikan
15. Keluarga UKM Musik ITS 2013 atas semua pengalaman bermusik serta cerita senang sedih yang telah diberikan.
16. Seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan motivasi yang tidak bisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada dan memberikan kritik dan/saran untuk perkembangan teknologi menjadi lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	3
1.3.Batasan Masalah	3
1.4.Tujuan	4
1.5.Manfaat kegiatan Tugas Akhir.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1.Material antimicrobial	5
2.2.Perak	6
2.3.Tembaga.....	9
2.4.Baja Tahan Karat Austenitik.....	9
2.5.Stainless Steel 316L	10
2.6.Teknologi Deposisi Lapisan Tipis : Physical Vapour Deposition	12



2.7.Mekanisme Inhibisi Ion Antimicrobial	16
2.8.Aktivasi agen antimicrobial pada Lapisan Tipis	18
2.9.Studi Antimicrobial pada Metal Oxide	20
2.10.Efek Penambahan Oksigen pada Sifat Antimicrobial Lapisan Tipis.....	22
2.11.Metoda Kirby-Bauer : disk diffusion test	22
2.12.Membandingkan ketebalan lapisan tipis dengan menggunakan Energy Dispersive Spectroscopy	24
2.13.State of the Art	25
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1.Diagram Alir	29
3.2.Rancangan Penelitian.....	32
3.3.Bahan dan Alat penelitian	32
3.3.1 Bahan-bahan Penelitian	32
3.3.2 Alat Penelitian	33
3.4.Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.5.Pengujian.....	35
3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive X-ray (EDX).....	35
3.5.2 Atomic Force Microscopy (AFM).....	35
3.5.3 X-Ray Diffraction (XRD).....	36
3.5.4 Rockwell-C Adhesion Test.	36
3.5.6 Pengujian kemampuan antimicrobial menggunakan metode Disk Diffusion Test.	38



BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA	39
4.1 Pengaruh luas area target terhadap sifat antimicrobial	39
4.1.1 Analisa Komposisi	39
4.1.2 Analisa Senyawa	40
4.1.3 Analisa Kekasaran	44
4.1.4 Analisa Kemampuan Antimicrobial	47
4.1.5 Analisa Adhesi	49
4.2 Pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap sifat antimicrobial	51
4.2.1 Analisa Komposisi	51
4.2.2 Analisa Senyawa	52
4.2.3 Analisa Kekasaran	55
4.2.4 Analisa kemampuan antimicrobial	57
4.2.5 Analisa kekuatan adhesi	59
 BAB V KESIMPULAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
 DAFTAR PUSTAKA	xxiii
LAMPIRAN	xxxii
BIODATA PENULIS	xlvi



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Kain katun tidak ditreatment, (b) kain dengan kandungan Ag NPs (Falleta dkk, 2008)	7
Gambar 2. 2 perbandingan inhibisi antara (a) AgNPs dan (b) AgCu Nanoalloys (Merve dkk, 2011)	8
Gambar 2. 3 Mesin Physical Vapour Deposition, Sputtering (Cao G, 2004).....	14
Gambar 2. 4 Perbandingan kekuatan adhesi dengan variasi plasma.(Gerenser, 1988)	15
Gambar 2. 5 Perbandingan morfologi antara E.Coli yang ditreatment dan yang tidak ditreatment dengan ion Ag (a) tidak ditreatment (b) mekanisme mempertahankan diri dengan memproteksi DNA (c) tahap akhir kematian sel E.coli (Feng dkk, 2000).	16
Gambar 2. 6 Mekanisme inhibisi ion Ag ⁺ pada sel bakteri. (Reidy, 2013).....	18
Gambar 2. 7 i) Zona Inhibisi pada Metal Oxide NP pada bakteri yang berbeda, (a) E.Coli, (b) S. Aureus, (c) P. Aeruginosa, dan (d) B. Subtilis. ii) grafik bar yang menunjukkan perbandingan zona inhibisi material yang berbeda.(Azam dkk, 2012)	21
Gambar 2. 8 Perbedaan Halo Inhibition pada masing-masing sampel, a) Ag , b) AgO10, c)AgO20, d) AgO100, e) Grafik perbedaan Halo Inhibition. (Rebelo, 2016)	22
Gambar 2. 9 Disk diffusion test. (Boundless, 2016)	23
Gambar 2. 10 (a) skema resrepresentatif dari produksi X-ray dengan elektron beam. (b) peak X-ray menyesuaikan dari substrat dan lapisan tipis (Pahleo dkk, 1989)	24



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	30
Gambar 3.2 Diagram alir subkultur bakteri dan pengujian antimicrobial	31
Gambar 3. 3 Mesin uji XRD	36
Gambar 3. 4 Mikroskop optik Olympus BX51M-RF	37
Gambar 3. 5 Tingkat kekuatan adhesi	38
Gambar 4. 1 Perbedaan hasil pengujian XRD pada tiap sampel beserta substratnya	43
Gambar 4. 2 Peak Fe dan Peak Cu yang berdekatan pada hasil XRD($2\theta = 42^\circ - 45^\circ$).....	44
Gambar 4. 3 hasil AFM – Topografi pada permukaan sampel; (a) 60% Ag 40% Cu, (b) 70% Ag 30% Cu, (c) 80%Ag 20% Cu.....	46
Gambar 4. 4 Area Inhibisi Lapisan Tipis AgCu dengan variasi Luas Area Target ; (a) 60% Ag 40%Cu, (b) 70% Ag 30% Cu, (c) 80% Ag 20% Cu. (d) Stainless Steel 316L tanpa perlakuan.....	47
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Panjang Inhibisi Lapisan Tipis AgCu dengan pengaruh komposisi Ag (wt%).....	48
Gambar 4. 6. Hasil Pengujian Adhesi lapisan tipis AgCu, dilihat dari tengah dan sekitar indentasi; (a) Ag ₆₀ -Cu ₄₀ (b) Ag ₇₀ -Cu ₃₀ (c) Ag ₈₀ -Cu ₂₀	50
Gambar 4. 7 Perbandingan hasil XRD tiap sampel dengan tekanan Nitrogen yang berbeda,.....	53
Gambar 4. 8 Peak Fe dan Peak Cu yang berdekatan pada sampel dengan variasi Nitrogen ($2\theta = 42^\circ - 45^\circ$).....	54
Gambar 4. 9 Perbandingan AFM- Topografi permukaan sampel tiap spesimen dengan variasi tekanan gas Nitrogen; (a) $0,5 \times 10^{-3}$ mbar (b) 1×10^{-3} mbar (c) $1,5 \times 10^{-3}$ mbar.....	56



Gambar 4. 10 zona inhibisi pada tiap sampel dengan variasi tekanan gas Nitrogen ; (a) $0,5 \times 10^{-3}$ mbar , (b) 1×10^{-3} mbar, (c) $1,5 \times 10^{-3}$ mbar, (d) Stainless Steel 316L tanpa perlakuan.....	58
Gambar 4. 11 Grafik pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap kemampuan antimicrobial	59
Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Adhesi lapisan tipis AgCu, dilihat dari tengah dan sekitar indentasi; (a) $N_{0,5}$ (b) N_1 (c) $N_{1,5}$	61



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi kimia Stainless Steel 316L (Azom, 2017)	10
Tabel 2. 2 Sifat mekanik Stainless Steel 316L (Azom, 2017).....	11
Tabel 3. 1 Rancangan penelitian tugas akhir.....	32
Tabel 4. 1 Data Komposisi Lapisan Tipis AgCu (wt%).....	39
Tabel 4. 2 Data Komposisi Lapisan Tipis AgCu (at%).....	39
Tabel 4. 3 Data AFM Sa dan Sz pada lapisan tipis AgCu.....	46
Tabel 4. 4 Perbandingan komposisi lapisan tipis AgCu (Wt %).	51
Tabel 4. 5 Perbandingan komposisi lapisan tipis AgCu (At%)...	51
Tabel 4. 6 Perbandingan nilai Sa dan Sz tiap sampel.....	55



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kesehatan tubuh manusia harus memperhatikan faktor lingkungan, seperti kebersihan lingkungan ataupun benda yang digunakan untuk kegiatan sehari-hari. Lingkungan yang kotor ataupun benda yang tidak dibersihkan dengan sempurna bisa menyebabkan tumbuhnya bakteri di lingkungan atau benda tersebut, sehingga jika tidak diperhatikan dengan baik akan mengakibatkan gangguan kesehatan seperti infeksi oleh bakteri. Adhesi bakteri adalah penyebab utama terjadinya infeksi (Zhao, dkk. 2004). Penggunaan alat-alat medis perlu diperhatikan kebersihannya karena jika dibiarkan, bakteri akan berkembang sehingga menjadi resiko yang berbahaya untuk pasien ketika terjadi kegagalan pada alat tersebut. Walaupun sudah mengikuti seluruh prosedur sesuai standar operasi, seperti sterilisasi perangkat medis dan preparasi kulit, infeksi tetap akan terjadi karena bakteri menempel pada perangkat tersebut (Hardes, dkk. 2007). Sehingga infeksi bakteri merupakan masalah serius dalam aplikasi biomedik (Hetrick, dkk. 2006). Berdasarkan fenomena tersebut, kemudian dari sisi keilmuan material, dikembangkan jenis material-material yang tidak disukai oleh bakteri atau disebut sebagai material antimikroba (*antimicrobial*).

Sejak dahulu di Yunani, Mesir dan Romawi, Perak (silver) sudah digunakan sebagai penyimpanan air atau cairan lain (Russell, 1994). Uang koin dari perak juga digunakan untuk mencegah air minum dari bakteri dan alga. Mereka juga menggunakannya untuk menjaga susu agar tetap segar (Hill, 2009). Setelah diteliti, terdapat kandungan yang sangat kecil dari perak yang menunjukkan sifat anti mikroba (Ravelin, 1869). Pada perkembangannya perak ini tidak lagi digunakan dalam bentuk koin namun sebagai bahan material pelapis anti mikroba untuk melindungi material induk dari serangan mikroba tersebut. Beberapa paduan dari perak ini diantaranya adalah tembaga (Cu)



yang mana memiliki sifat *antimicrobial*. Sehingga, paduan dari Ag dan Cu merupakan hal yang menarik untuk diteliti sebagai bahan material pelapis *antimicrobial*.

Stainless Steel 316L merupakan baja tahan karat austenitic yang biasa digunakan pada peralatan medis seperti *orthopedics* karena ketahanan korosi-nya yang kuat dan mudah untuk dibentuk. Tetapi bahan ini tidak memiliki sifat *antimicrobial* pada permukaannya sehingga bakteri dapat menempel pada permukaannya dan menyebabkan infeksi. Modifikasi permukaan pada peralatan medis merupakan salah satu strategi untuk menghilangkan kemungkinan infeksi yang diakibatkan oleh bakteri. Penggunaan bahan anti mikroba seperti Ag dan Cu untuk menjadi bahan pelapis alat medis merupakan solusi yang dapat diimplementasikan. Pada saat ini material dengan kandungan perak sudah cukup efektif sebagai material untuk *antimicrobial*, namun interaksi antara tubuh manusia dan mikroorganisme yang pathogen tidak pernah berhenti sehingga muncul tantangan baru misalnya pathogen yang resistan terhadap perak dan mikroorganisme yang menempel di perangkat medis seperti kateter dan *orthopedics*.. Infeksi yang terjadi pada *orthopedics* mengakibatkan infeksi tulang seperti *Osteomyelitis* (Lidgren dkk, 2003). Infeksi ini terjadi akibat bakteri, seperti *Staphylococcus aureus* atau *Eschericia Coli* (Bredy dkk, 2006). Hal ini memerlukan inovasi berupa pendekatan metode yang baru dan juga modifikasi di aspek materialnya agar memiliki kemampuan resistensi terhadap bakteri tersebut.

Penelitian menggunakan perak (Ag) sebagai material lapisan tipis yang *antimicrobial* telah banyak dilakukan, namun belum banyak modifikasi komposisi seperti penambahan material *antimicrobial* lain dan plasma nitrogen untuk diteliti pengaruhnya terhadap sifat antimikroba. Penelitian ini menggunakan material perak (Ag) dan tembaga (Cu) yang memiliki kemampuan resistensi terhadap bakteri. Kedua material tersebut dideposisikan ke substrat (*Stainless Steel 316L*) dengan metode *Physical Vapour Deposition (PVD)* dengan teknik *RF Sputtering*. Metode *Mosaic* digunakan pada material target (Ag dan Cu) untuk membuat lapisan tipis

BAB I PENDAHULUAN



monolayer. Metode ini mampu mengubah komposisi yang terbentuk pada lapisan tipis tersebut dengan merubah perbandingan luas target Ag dan Cu. Sehingga dapat dianalisa pengaruh perbandingan luas target terhadap sifat antimikroba lapisan tipis AgCu. Induksi gas Nitrogen pada proses *Physical Vapour Deposition* akan mengubah karakteristik lapisan tipis karena ion Nitrogen akan terdeposit pada lapisan tipis tersebut. Sehingga, keberadaan Nitrogen ini merupakan hal akan berpengaruh terhadap kemampuan anti mikroba lapisan tipis serta akan mengubah sifat mekanik lapisan tipis yang dihasilkan. Variasi tekanan gas Nitrogen dilakukan pada penelitian ini untuk menganalisa pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap kemampuan resistensi material lapisan tipis AgCu terhadap bakteri.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas pada Tugas Akhir ini, yaitu ;

1. Bagaimana pengaruh perbandingan luas target Ag dan Cu terhadap sifat *antimicrobial*?
2. Bagaimana pengaruh tekanan Nitrogen terhadap sifat *antimicrobial*?
3. Bagaimana sifat mekanik, morfologi, dan fase yang terbentuk dari lapisan tipis yang dihasilkan?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah atau variable yang diabaikan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah

1. Perubahan temperatur dalam *Chamber PVD* diabaikan
2. Tingkat kebersihan permukaan substrat dianggap sama
3. Jarak substrat terhadap material target dalam *Chamber PVD* dianggap sama pada setiap proses
4. Perubahan tekanan gas Argon dalam proses *PVD* diabaikan
5. Perubahan voltase *DC-BIAS* dalam proses *PVD* diabaikan



1.4. Tujuan

Tujuan dilakukannya Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut ;

1. Menganalisis pengaruh perbandingan luas target Ag dan Cu terhadap sifat *antimicrobial*
2. Menganalisis pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap sifat *antimicrobial*
3. Menganalisis sifat mekanik, morfologi, dan fase yang terbentuk dari lapisan tipis yang dihasilkan.

1.5. Manfaat kegiatan Tugas Akhir

Diharapkan tugas akhir yang dilakukan dapat memberikan manfaat yang luas terhadap industri dan institusi pendidikan di tanah air. Seperti memberikan informasi ilmiah untuk perkembangan teknologi industri peralatan medis tanah air atau memberikan inspirasi dan menambah wawasan untuk mahasiswa ataupun peneliti di institusi pendidikan tanah air.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berasal dari buku, jurnal, *internet*, atau literatur lain tentu dibutuhkan untuk melancarkan jalannya penelitian tugas akhir. Tinjauan pustaka yang mendukung adalah mengandung landasan teori dan informasi seluruh metode dan material yang digunakan pada penelitian ini. Informasi dan teori yang digunakan akan dijelaskan pada sub-bab berikut.

2.1. Material *antimicrobial*

Kemajuan teknologi bidang *nanoscience* dan *nanotechnology* membuka kesempatan untuk mengembangkan teknologi modern pada ilmu material digunakan untuk aplikasi biomedik. (Sun dan Rogers, 2007). beberapa ion metal sangat berperan pada proses biologi di tubuh manusia dan telah digunakan sebagai material penyembuh dari berbagai macam penyakit sejak dulu. Bangsa kuno Yunani dan Roma menggunakan sifat *antimicrobial* pada ion perak untuk melawan infeksi. Ion perak juga banyak digunakan sebagai agen *antimicrobial* untuk penyembuhan luka bakar. (Du dkk, 2007). Peneliti telah menemukan sifat *antimicrobial* pada metal lain, diantaranya adalah Au (emas), Cu (tembaga), CuO, Cu₂O, dan ZnO. Seluruh material tersebut diteliti dalam ukuran skala nano dan telah terbukti memiliki sifat *antimicrobial* terhadap bakteri. Dibanding Ag, informasi tentang sifat *antimicrobial* pada Au sangat terbatas karena sifatnya yang sangat *inert*, dan *toxicity* yang rendah. Studi tentang metal oksida seperti CuO sebagai agen *antimicrobial* sedikit meskipun material ini memiliki beberapa kelebihan seperti rendah biaya, mudah dicampur dengan polymer, dan memiliki stabilitas kimia dan fisika yang baik.



2.2. Perak

Perak adalah unsur logam dengan nomor atom 47. Simbolnya adalah Ag, dari bahasa Latin *argentum* yang artinya adalah “putih” atau “silau”. Perak telah lama dinilai sebagai logam mulia. Perak adalah salah satu logam yang memiliki konduktivitas elektrik, konduktivitas thermal, dan reflektitas yang tinggi.

Manusia sudah lama menggunakan perak sebagai bahan untuk pembuatan koin, pemotong, kain, kosmetik, dan implant medis selama lebih dari 7000 tahun (Alexandru, 2016). Perak juga telah lama dinilai sebagai metal berharga (*Precious Metal*). Perak memiliki kemampuan sebagai bahan untuk peralatan medis karena perak sangat efektif sebagai *anti-microbial agent* (Raghupathy, 2016). Perak memiliki nilai *toxicity* yang rendah terhadap tubuh manusia dan telah diuji dengan metoda *in vivo* dan *in vitro* (Faroqui, dkk. 2010).

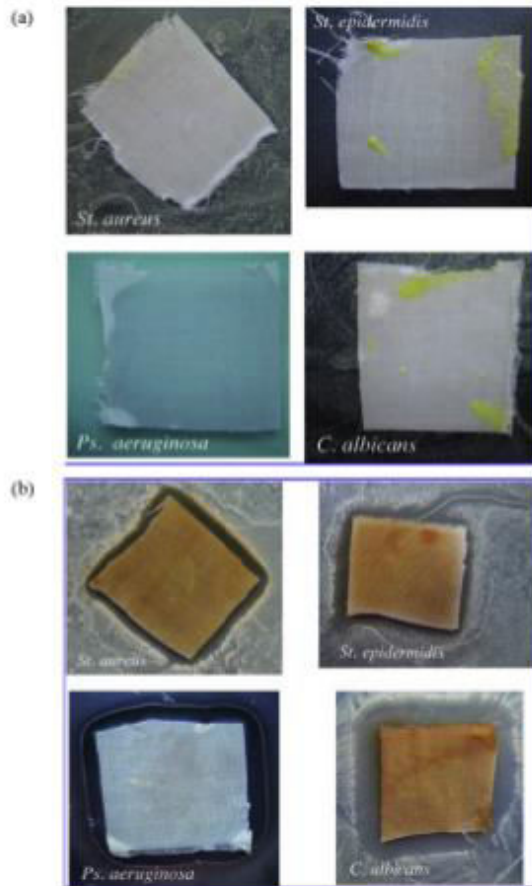
Perak memiliki aktivitas antimicrobial terhadap bakteri, *fungi*, *protozoa*, dan beberapa virus, termasuk sebagai resistan antibiotik. Perak juga digunakan untuk menurunkan infeksi yang terjadi pada area luka bakar, mencegah pembentukan koloni bakteri pada alat medis dan kain, serta *water treatment* (Alexandru, 2016). Perak merupakan *noble metal* ($E^0 = + 0.80 \text{ V}$), yang tidak mudah bereaksi dengan air ataupun asam. Namun, dalam bentuk padat atau nanopartikel (NPs), Perak mampu mengeluarkan sedikit ion Ag^+ dimana ion ini berperan sebagai zat *antimicrobial* pada permukaan metal atau NPs. pada eksperimen yang telah dilakukan Falleta dkk, 2008, telah dibandingkan kain yang diberikan Ag NPs dan yang tidak ditreatmen. Pada gambar 2.1. terlihat bahwa kain dengan Ag NPs memiliki zona inhibisi yang menunjukkan kemampuan Ag untuk menjadi agen *antimicrobial* (Alexandru, 2016).

Penambahan konsentrasi Ag akan meningkatkan kemampuan efek *antimicrobial*. Selain itu, peningkatan efek *antimicrobial* telah dilakukan pada nanoalloys AgCu dibandingkan dengan AgNPs murni (gambar 2.2) (Merve dkk, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa AgCu Nanoalloys akan memberhentikan dan

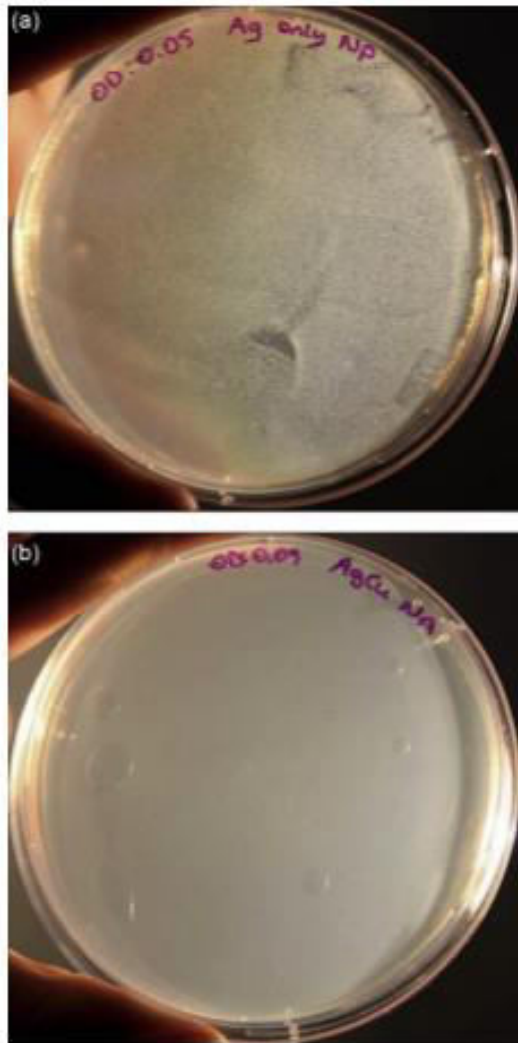
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



membunuh 99% bakteri *E.Coli* meski hanya dengan konsentrasi serendah 0.5 $\mu\text{g/ml}$, dimana AgNPs tidak dapat menunjukkan inhibisi walaupun dalam konsentrasi yang jauh lebih tinggi, 150.0 $\mu\text{g/ml}$



Gambar 2. 1 (a) Kain katun tidak ditreatment, (b) kain dengan kandungan Ag NPs (Falleta dkk, 2008)



Gambar 2. 2 perbandingan inhibisi antara (a) AgNPs dan (b) AgCu Nanoalloys (Merve dkk, 2011)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.3. Tembaga

Tembaga adalah unsur kimia dengan symbol Cu (dari bahasa Latin, *Cuprum*) dan memiliki nomor atom 29. Tembaga merupakan logam yang lunak, *malleable*, dan *ductile*, memiliki konduktivitas thermal dan konduktivitas elektrik yang tinggi. Logam yang berwarna merah-oranye ini telah digunakan dalam peradaban sejak 8000 SM. Logam ini merupakan salah satu logam terpentin bagi industri modern. Sifat fisik logam mudah dibentuk, tahan karat dan temperetaur tinggi, dapat didaur ulang. Tembaga banyak digunakan untuk aplikasi elektrik karena memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik. Tidak heran jika 66% tembaga yang dikonsumsi tiap tahun digunakan dalam peralatan listrik. Selain itu, tembaga dalam bentuk metal atau komponen kimia memiliki sifat *anti-inflammatory*, *anti-microbial*, dan *anti-proliferative*, yang telah digunakan sejak dulu (Szymanski, dkk. 2012).

Sama sepertihalnya logam Perak, beberapa metal ion seperti Cu^{2+} dan Zn^{+} digunakan sebagai *antibacterial agents* karena memiliki spektrum *antimicrobial properties*. Sehingga, penambahan elemen Cu ini dapat menambahkan sifat *antimicrobial* pada metal. Tembaga sangat baik digunakan untuk perlengkapan medis karena memiliki *toxicity* rendah dan *cytocompatibilty* tinggi (Erlin, dkk. 2016). Menurut Wojcieszak dkk, 2016, aktifitas tembaga terhadap kontak mikroba dan sel bergantung pada migrasi ion Cu^{2+} ke lingkungan sekitar. Jika diaplikasikan sebagai bahan pelapis, Proses ini merupakan kelemahan dan dapat merusak bahan tersebut. Sehingga preparasi lapisan tipis tembaga yang mengandung elemen yang lebih stabil seperti Ti merupakan hal yang menarik untuk mendapatkan material *bioactive* dengan kestabilan yang tinggi.

2.4. Baja Tahan Karat Austenitik

Kelompok ini terdiri dari baja chrom-nickel (seri 3xx) dan baja chrom-nickel-mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitic, non magnetic, non hardenable. Mudah dihot-wok, tetapi agak sulit dicold-work



karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Dalam keadaan *cold worked* baja ini menjadi sedikit magnetic. *Colid working* dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi, tergantung pada tingkat deformasi yang dialami.

Kelompok baja tipe 301 dan 302 mempunyai sifat *shock resistant* yang tinggi, dan juga sulit dimachining. Kedua tipe ini hamper sama sifat mekaniknya, hanya kadar Cr dan Ni-nya lebih rendah (17% Cr – 7% Ni). Sifat tahan korosi dari baja tahan karat akan lebih baik bila kadar paduan lebih tinggi, maka tipe 302 dikembangkan menjadi beberapa tipe dengan Cr-Ni lebih tinggi, yaitu tipe 308, 309, 310, 310S dan 314. Sifat tahan korosi (terutama pitting) dan creep akan lebih baik dengan adanya Mo, maka tipe 302 dikembangkan menjadi tipe 316, 316L (Extra low carbon) dan tipe 317.

2.5. *Stainless Steel 316L*

Stainless Steel 316 L merupakan baja *Stainlees Steel* karbon rendah dan memiliki kemampuan resistensi terhadap korosi. Stuktur *austenitic* yang ada pada baja ini memberikan *toughness* yang baik, walau digunakan pada temeptratur sangat rendah (*cryogenic*). Pada tabel 2.1 dan tabel 2.2, diketahui komposisi kimia dan sifat mekanik pada *Stainless Steel 316 L*.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia Stainless Steel 316L (Azom, 2017)

Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
316L	Min	-	-	-	-	-	16.0	2.0	10.0	-
	Max	0.03	2.0	0.75	0.045	0.03	18.0	3.00	14.0	0.10



Tabel 2. 2 Sifat mekanik Stainless Steel 316L (Azom, 2017)

Grade	Tensile Str. (MPa) min	Yield Str. (MPa) min	Elong. (% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
316L	485	170	40	95	217

Banyak kegunaan Baja *Stainless Steel 316L* ini, karena kemampuannya yang tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk (*Machineability* yang tinggi). Contoh aplikasi baja *Stainless Steel 316L* ini adalah untuk alat memasak, *pharmaceuticals*, alat kelautan / kapal, dan juga untuk implan medis, termasuk pin, sekrup, dan implan *orthopedic* pengganti lutut (*knee*) atau pinggul (*hip*).

Stainless steel 316L banyak digunakan karena keunggulannya pada ketahanan korosi, sifat fisi, sifat mekanik, dan permukaan yang mudah dibersihkan. Komposisi kimia dari *stainless steel 316L* telah dikembangkan ntuk memperoleh struktur austenite yang stabil dan memiliki banyak keuntungan, yaitu : Baja *stainless steel* austenitic memiliki struktur FCC sehingga lebih unggul dari *stainless steel* feritik dalam ketahan terhadap korosi karena kepadatan atom kristalografi yang lebih tinggi, rasio kekuatan luluh dan kekuatan Tarik yang sangat rendah dan *machineability* yang tinggi, cold working dan *successive aging treatment* dapat diterapkan untuk meningkatkan kekuatan. *Stainless steel* austenitic pada dasarnya bersifat non magnetic. (Sutowo, dkk. 2014). Meskipun *Stainless steel 316L* merupakan bahan yang digunakan sebagai implan *Orthopedics* karena ketahanan korosi yang kuat, bahan ini belum mampu menghambat perkembangan bakteri.



2.6. Teknologi Deposisi Lapisan Tipis : Physical Vapour Deposition

Teknologi Deposisi lapisan tipis banyak jenisnya namun secara umum dibagi menjadi dua jenis yaitu chemical vapor deposition (CVD) dan physical vapor deposition (PVD). Dari dua jenis tersebut kemudian terdapat pengembangan tergantung dari metode aktivasi dan medianya. Perbedaan utama dari dua jenis tersebut adalah CVD menggunakan gas sebagai precursor dan PVD menggunakan target berupa material padat yang dibombardir dengan ion atau plasma.

Physical Vapour Deposition (PVD) banyak digunakan di beberapa sektor industri. Contohnya, industri *Metal-working* (*Cutting tools*), aplikasi biomedik, dan komponen optic. Pelapisan dengan metode ini banyak dilakukan untuk mendapatkan peningkatan pada properties suatu bahan, seperti kekerasan yang tinggi, resistensi terhadap korosi dan cacat *wear*, friksi rendah, dan properties spesifik optik atau elektrik.

PVD adalah metode sintesis serba guna dan dapat mengontrol struktur lapisan tipis pada skala atom maupun nanometer dengan melakukan *monitoring* yang tepat saat proses berlangsung. Ada beberapa macam metode PVD yang digunakan, yaitu *Evaporation*, *Sputtering*, *Laser ablation*, dan *Ion Beam* (Nissan, 2011).

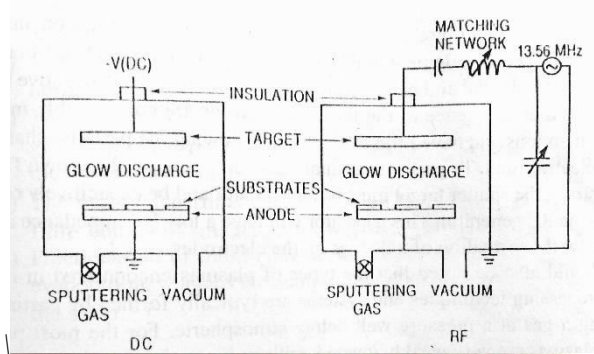
Metode PVD yang paling sering digunakan adalah metode *Evaporation* dan *Sputtering*. Pada metode *Evaporation*, uap yang dihasilkan merupakan dari material target yang dipanaskan dengan radiasi, *eddy currents*, bombardir electron, dsb. Proses ini berlangsung dalam keadaan vakum (10^{-5} sampai 10^{-6} Torr) sehingga atom yang menguap akan berpindah ke substrat sebelum terjadi kondensasi. Pada metode *Sputtering*, gas ion (biasanya argon) dibutuhkan untuk memborbardir material target sehingga atom-atom dari material target terdeposit ke substrat dalam bentuk uap. Adhesi yang dihasilkan dari metode PVD bervariasi, dari buruk (*Poor*) hingga sempurna (*Excellent*). Metode *Sputtering* menghasilkan nilai adhesi yang lebih tinggi dibandingkan metode

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Evaporation. Hal ini disebabkan karena energi deposisi pada metode *Sputtering* lebih tinggi dibanding *Evaporation* (1 sampai 10 eV vs. 0.1 sampai 0.2 eV).

Sputtering menggunakan energi ion untuk memborbardir atom atau molekul agar lepas dari molekul lainnya yang ada pada material target, sehingga atom atau molekul tersebut terdeposit pada substrat. Banyak pengembangan teknik *Sputtering* yang telah digunakan, namun pada dasarnya, seluruh proses *Sputtering* kurang lebih sama. Gambar 2.3 menunjukkan prinsip dasar dc dan RF pada sistem *Sputtering*. Pada proses *Sputtering* menggunakan sistem dc, target dan substrat berhadapan satu sama lain didalam chamber. Gas argon sebagai gas inert yang biasa digunakan pada proses *Sputtering* memiliki tekanan sebesar kurang dari 100 mTorr. Gas ini lalu disalurkan kedalam chamber sebagai media untuk menginisiasi dan mengontrol *discharge*. Ketika sumber listrik telah dialirkan ke elektroda, *glow discharge* akan terlihat diantara kedua elektroda. Electron bebas akan bermunculan akibat *electric field* dan mendapatkan energi yang cukup untuk mengionisasi atom argon. Tekanan atau densitas gas tidak boleh terlalu rendah karena akan mengakibatkan electron bebas tersebut menyerang anoda sehingga tidak terjadi tubrukan fasa gas antara elektron dengan gas atom. Sebaliknya, ketika tekanan atau densitas gas terlalu besar, elektron tidak akan mendapatkan energi yang cukup untuk menyerang gas atom, sehingga tidak akan terjadi ionisasi. Selanjutnya, ion positive (Ar^+) yang merupakan hasil dari penyerangan electron bebas terhadap gas argon, menyerang katoda (material target) sehingga melepas atom netral melalui transfer momentum. Atom tersebut akan melewati area *discharge* dan terdeposit pada anoda (substrat). Selain atom netral yang terdeposit pada substrat, spesies yang mengandung ion negative akibat *electric field* juga akan memborbardir dan berinterakis dengan permukaan pada substrat atau *growth film*.

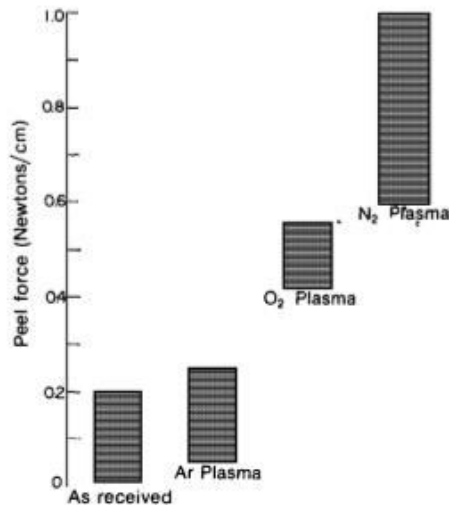


Gambar 2. 3 Mesin Physical Vapour Deposition, Sputtering (Cao G, 2004)

Banyak modifikasi yang telah dilakukan untuk meningkatkan proses deposisi sehingga menghasilkan proses modifikasi PVD yang berbeda. Seperti, area magnetic telah ditambahkan kedalam proses PVD untuk meningkatkan *Residence time* dari *growth species* pada fasa uap, metode proses PVD ini bisa disebut *magnetron sputtering*. Gas reaktif juga dapat ditambahkan dalam *deposition chamber* untuk membentuk lapisan *compound*, metode ini biasa disebut *reactive sputtering*.

Gambar 2.4 menunjukkan peningkatan kekuatan adhesi pada silver yang terdeposit di polyethylene (PE) dalam keadaan vakum. Terlihat bahwa plasma Argon memberikan sedikit atau bahkan tidak sama sekali pada kekuatan adhesi, sebaliknya, plasma Nitrogen dapat meningkatkan kekuatan adhesi antara material pelapis dan subtrat. (Gerenser, 1988)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



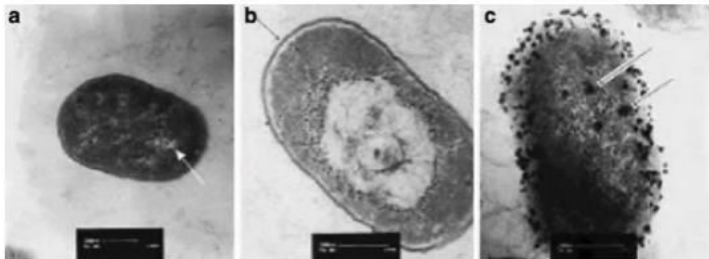
Gambar 2. 4 Perbandingan kekuatan adhesi dengan variasi plasma.(Gerenser, 1988)

Untuk mendapatkan atau memvariasikan komposisi dari lapisan maka dapat digunakan target dengan komposisi tertentu dengan cara pengecoran untuk mendapatkan komposisi yang homogeny. Metode kedua yaitu dengan cara membuat rasio luas permukaan disesuaikan dengan komposisi yang diharapkan, metode ini sudah dilakukan pada eksperimen Liu, dkk (2010) untuk mendeposisikan material Ag dan Cu dengan metode mozaik. Contoh variasi yang ingin dilakukan adalah seperti paduan Ag/Cu dengan rasio 70/30, maka dalam prose ini menggunakan material murni 99,99 % Ag dan 99,99 % Cu dengan rasio luas permukaan yang terekspose plasma 70/30.



2.7. Mekanisme Inhibisi Ion *Antimicrobial* Interaksi dengan DNA

DNA mempunyai fungsi yang signifikan pada proses reproduksi sel. Kerusakan pada DNA ini akan mengakibatkan terjadinya mutasi atau meninggalnya sebuah organisme. Beberapa peneliti telah mendokumentasikan hubungan antara ion Ag dengan DNA seperti Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Perbandingan morfologi antara E.Coli yang ditreatment dan yang tidak ditreatment dengan ion Ag (a) tidak ditreatment (b) mekanisme mempertahankan diri dengan memproteksi DNA (c) tahap akhir kematian sel E.coli (Feng dkk, 2000).

Feng dkk (2000) meneliti mekanisme dari antibakterial Ag^+ dengan perlakuan pada bakteri E.Coli dan B. Aureus dengan larutan $AgNO_3$. Gambar 2.5. merupakan gambar TEM dari Bakteri E.Coli yang telah mengalami perlakuan dibandingkan dengan yang tidak mengalami perlakuan. Pada Gambar 2.3 (a). menunjukkan area sinar electron terdistribusi dan sebaliknya granular electron-dense tampak disekitar daerah electron-light (Gambar 2.5.(b) dan (c)). Yang dkk (2009) melakukan penelitian untuk membuktikan asumsi bahwa ion Ag menyebabkan naiknya

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



frekuensi mutase dari microorganism. Penelitian ini menggunakan silver nanopowder, silver-cooper nanopowder dan cooloidal silver. Metode in vivo E.Coli dan polymerase chain reaction (PCR) digunakan dan dibandingkan hasilnya. Hasil in vivo E.Coli menunjukan frekuensi mutase empat kali lebih rendah dari in vitro.

Mekanisme Inhibisi Ion Ag⁺

Walaupun perak (Ag) merupakan agen *antimicrobial* yang biasa diketahui karena memiliki aktivitas *antimicrobial* yang tinggi, mekanisme dari aktivitas ini belum dimengerti secara sempurna. Tetapi telah diteliti bahwa mekanisme dari aktivitas *antimicrobial* Ag bisa dilakukan dengan :

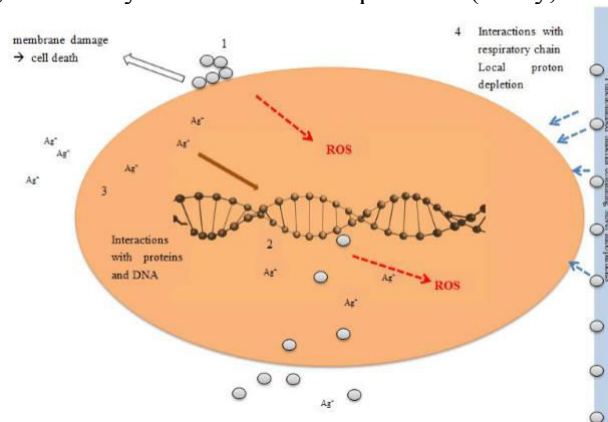
1. Pelepasan ion Ag⁺
2. Interaksi bakteri dengan Ag *Nanoparticle*
3. Pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS)

Ion Ag⁺ mampu melakukan penetrasi kedalam bakteri dan menyebabkan bakteri tersebut pecah (*lysis*). Ag *Nanoparticle* dapat memberikan pengaruh *antimicrobial* yang lebih efektif karena memiliki permukaan yang jauh lebih luas, sehingga mudah untuk ter-ionisasi. Ag *Nanoparticle* dapat berinteraksi langsung dengan bakteri, sehingga menyebabkan bakteri tersebut mati. ROS dapat dibentuk di dalam dan di luar cell dan merupakan produk sampingan dari metabolisme bakteri. Induksi dari pembentukan ROS dapat membentuk radikal yang sangat aktif yang dapat merusak mikroorganisme, meningkatkan kerusakan sel atau disfungsi sel. Perak mampu membentuk ROS, terutama perak yang mengandung *Superoxide* (O₂⁻), *Hydroxyl radicals* (OH), *singlet oxygen* (¹O₂) dan H₂O₂. (Rebelo, 2016)

Mekanisme inhibisi ion perak dengan Ag *nanoparticle* dapat dilihat pada gambar 2.6. Awalnya, terjadi penempelan Ag *Nanoparticle* pada permukaan bakteri, mengubah properties dari



permukaan bakteri. Lalu Ag *Nanoparticle* memasuki sel bakteri, sehingga terjadi kerusakan pada DNA. Kelarutan Ag *Nanoparticle* melepas ion Ag^+ dimana ion tersebut akan berinteraksi dengan protein yang mengandung sulfur pada dinding sel. Hal ini dapat merusak fungsi sel bakteri tersebut. Keberadaan Ag^+ pada sel bakteri juga dapat mengganggu proses respirasi (perpindahan proton dari dalam ke luar bakteri). Pembentukan ATP akan terjadi ketika proton memasuki sel, sehingga gradien elektrokimia adalah hal yang esensial pada sintesis ATP bakteri. Ketika proses ini terganggu, akan menyebabkan kematian pada sel. (Reidy, 2013)



Gambar 2. 6 Mekanisme inhibisi ion Ag^+ pada sel bakteri.
(Reidy, 2013)

2.8. Aktivasi agen *antimicrobial* pada Lapisan Tipis

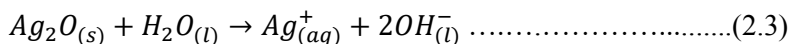
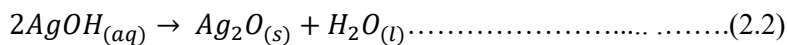
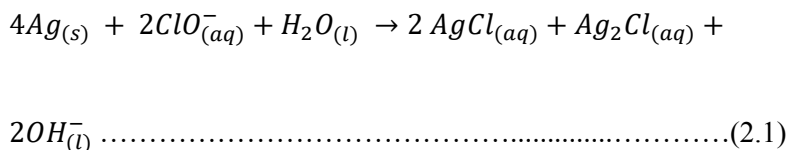
Mekanisme aktivitas *antimicrobial* pada material *antimicrobial* seperti perak dan tembaga belum diteliti secara menyeluruh, namun sudah dapat dipastikan bahwa ion berperan penting pada aktivitas *antimicrobial*. Ion ini akan melekat pada molekul biologi (Protein, DNA, RNA), dan akan merusak fungsi mereka. (Feng, dkk. 2000). Ion *antimicrobial* seperti perak juga

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



akan menghasilkan *Reactive Oxygen Species* (ROS), yang beracun untuk sel bakteri (Lalueza, dkk. 2011). Untuk melihat aktivitas *antimicrobial* pada material tersebut, dibutuhkan ionisasi perak karena unsur metallik perak yang terkandung didalam lapisan bukan zat kimia aktif dan memiliki kemampuan *dissolution* yang rendah dalam media biologi. (Sambhy, dkk. 2006)

Sodium Hypchlorite (NaClO) merupakan agen sterilisasi yang banyak digunakan, seperti purifikasi air, *metal disinfection*, dan sterilisasi luka. (Quin, dkk. 2002). Pada peneilitian Ferreri, dkk. 2014, dilakukan aktivisasi ion perak (Ag) dengan menggunakan NaClO sebanyak 5%. Pada penelitian ini, menghasilkan reaksi kimia antara perak dan *sodium hypochlorite* seperti pada persamaan 2.1. Aktivasi dan ionisasi perak menggunakan komponen oksidasi, sehingga menghasilkan reaksi seperti pada persamaan 2.2 (pembentukan *Silver Oxide* dari *Silver Hydroxide*) dan 2.3 (Pembentukan Ag^+ dari *Silver Oxide*). Penelitian ini menunjukan terbentuknya oksidasi nano silver yang mana akan menghinibisi atau memperlambat pertumbuhan bakteri. Penelitian ini juga membuktikan bahwa tidak ada ikatan Ag-Cl yang terbentuk, dan hanya membentuk ikatan Ag-O.



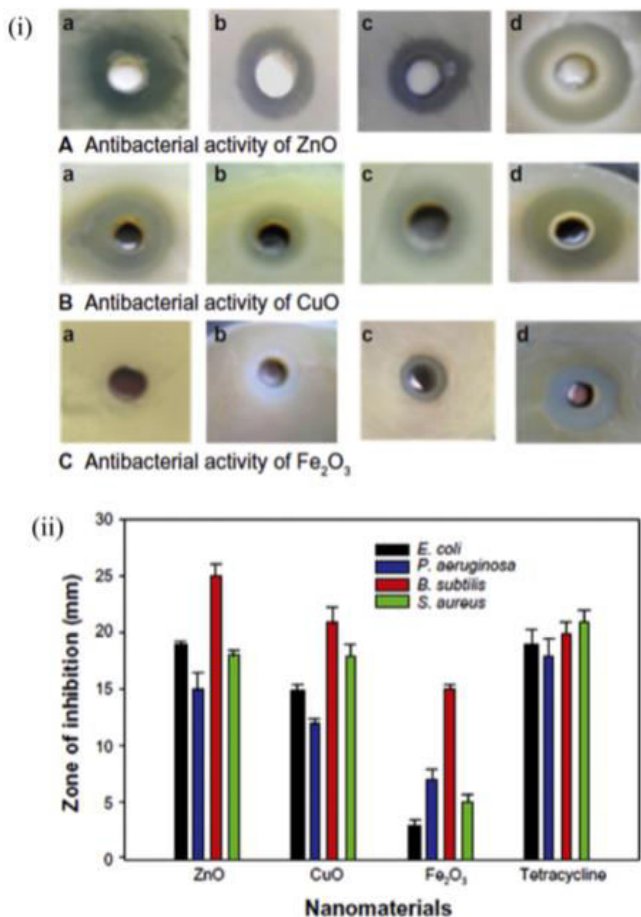


Sodium hypochlorite (NaOCl) termasuk *oxidiser* yang kuat (Bloomfield, 1996), maka larutan ini dapat mengoksidasi tembaga (Cu). *Cupric Oxide* (CuO) akan terbentuk pada permukaan tembaga karena reaksi atom Cu dengan *Oxidizing Agent*. Permukaan tembaga yang berubah warnanya (menjadi lebih gelap) adalah salah satu ciri terjadinya oksidasi pada tembaga tersebut. (Kopeliovich, 2013). Kemampuan *antimicrobial* pada *Metal Oxide* seperti CuO akan dijelaskan pada subab berikutnya.

2.9. Studi *Antimicrobial* pada *Metal Oxide*

Studi yang mempelajari *metal oxide* sebagai *antimicrobial* yang baru sudah lama dilakukan, karena oksida *inorganic* mengandung elemen mineral yang esensial untuk manusia dan menunjukkan aktivitas yang kuat walaupun dalam jumlah yang sedikit. *Copper Oxide* (CuO dan Cu_2O) dapat diaplikasikan ke banyak hal, seperti sensor gas, katalis, baterai, superkonduktor temperatur tinggi, konversi *solar energy*, dan *field emission emitters*. Studi yang menunjukkan CuO sebagai agen *antimicrobial* masih terbatas walaupun memberikan keuntungan seperti bahan yang murah, mudah dicampurkan dengan polymer, dan memiliki stabilitas kimia dan fisika yang baik.

Studi komparasi antara Ag nanopartikel dengan CuO nanopartikel menunjukkan bahwa Ag NP pada konsentrasi $100 \mu\text{g/ml}$ menunjukkan kemampuan aktivitas *antimicrobial* yang sama dengan CuO NP dengan konsentrasi $100 - 5000 \mu\text{g/ml}$ (Rena dkk, 2009). Observasi terhadap kemampuan *antimicrobial* pada *metal oxide* seperti ZnO atau Fe_2O_3 telah dilakukan (Azam dkk, 2012). ZnO dan CuO NP menunjukkan kemampuan *antimicrobial* yang lebih baik dibanding Fe_2O_3 . Perbandingan ini bisa dilihat pada gambar 2.7.



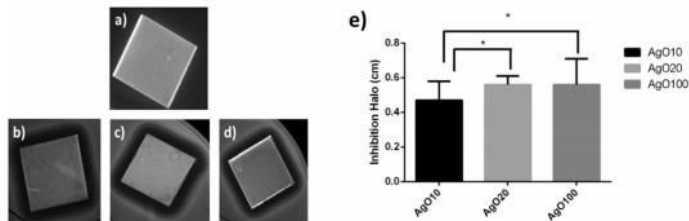
Gambar 2. 7 i) Zona Inhibisi pada *Metal Oxide* NP pada bakteri yang berbeda, (a) *E.Coli*, (b) *S. Aureus*, (c) *P. Aeruginosa*, dan (d) *B. Subtilis*. ii) grafik bar yang menunjukkan perbandingan zona inhibisi material yang berbeda. (Azam dkk, 2012)



2.10. Efek Penambahan Oksigen pada Sifat *Antimicrobial* Lapisan Tipis

Pada penelitian Rebelo, 2016, terlihat bahwa penambahan konten Oksigen pada lapisan tipis berpengaruh pada sifat *Antimicrobial*-nya. Pada penelitian ini, Rebelo menggunakan lapisan tipis perak (Ag). Laju aliran Oksigen yang diberikan pada proses PVD untuk meningkatkan kadar Oksigen pada lapisan tipis Ag tersebut, sehingga dihasilkan produk AgO_x.

Pada penelitian Rebelo dkk 2016, perbedaan kemampuan pelepasan ion Ag⁺ pada Ag dan AgO_x berbeda. *Halo Inhibition test* ditunjukkan pada gambar 2.8. terlihat bahwa penambahan Oksigen pada lapisan tipis dapat meningkatkan aktivasi ion Ag⁺.



Gambar 2. 8 Perbedaan Halo Inhibition pada masing-masing sampel, a) Ag , b) AgO10, c)AgO20, d) AgO100, e) Grafik perbedaan Halo Inhibition. (Rebelo, 2016)

2.11. Metoda Kirby-Bauer : disk diffusion test

Tes kerentanan *antimicrobial* (*Antimicrobial Susceptibility Testing – AST*) adalah uji yang penting dilakukan oleh laboratorium klinik mikrobiologi. Hal ini disebabkan karena pemilihan obat *antimicrobial* untuk pasien dan juga untuk pengecekan *epidemiological*. walaupun banyak cara yang dapat dilakukan untuk tes kerentanan *antimicrobial*, metode Kirby-Bauer



atau biasa disebut disk diffusion test merupakan tes yang paling banyak dilakukan (Felmingham dan Brown, 2001). Metode ini merupakan metode yang rendah biaya, tinggi reproduksi, dan kombinasi obat yang dapat diubah dengan mudah. (Berke dan Tierno, 1996). (Endang dkk, 2008)

Disk Diffusion test menggunakan cawan yang telah diberikan bakteri, lalu kepingan yang ingin diuji sifat *antimicrobial*-nya diletakkan di cawan tersebut dan ditunggu beberapa waktu. Jika bakteri tersebut rentan terhadap zat yang diuji, maka terdapat area yang jernih dimana bakteri tidak dapat tumbuh di area tersebut. Area ini disebut sebagai *Zone of Inhibition* atau zona inhibisi. Semakin luas zona inhibisi sekitar material uji menunjukkan bakteri lebih sensitif terhadap material uji tersebut. Gambar 2.9. menunjukkan contoh disk diffusion test (Boundless, 2016).



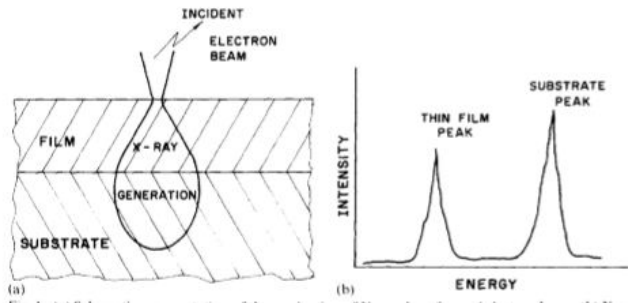
Gambar 2. 9 Disk diffusion test. (Boundless, 2016)



2.12. Membandingkan ketebalan lapisan tipis dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy*

Penggunaan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS / EDX) untuk mengestimasi ketebalan lapisan tipis sudah pernah dilakukan di penelitian sebelumnya, Pascual dkk 1989 mengestimasi lapisan tipis dengan menggunakan intensitas peak ratio pada hasil EDX di substrat dan lapisan tipis.

Pascual dkk, 1989, telah melakukan pendekatan untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis dengan menggunakan EDX. Pada proses EDX, jika energi elektron yang digunakan cukup besar, elektron tersebut akan mengenai lapisan tipis dan substrat seperti pada gambar 2.10. sehingga karakteristik X-Ray dari substrat dan lapisan tipis akan dihasilkan dan terdeteksi oleh sistem EDX. Tinggi peak x-rays tergantung pada ketebalan dan karakteristik lapisan tipis. Semakin tebal lapisan tipis maka tinggi peak x-rays untuk lapisan tipis semakin tinggi, sedangkan x-rays untuk substrat semakin menurun.



Gambar 2. 10 (a) skema resrepresentatif dari produksi X-ray dengan elektron *beam*. (b) peak X-ray menyesuaikan dari substrat dan lapisan tipis (Pahleo dkk, 1989)

Penggunaan ratio pada analisa EDX juga dapat membandingkan ketebalan pada spesimen. Menurut diktat online *Central Facility for Advanced Microscopy and Microanalysis (CFAMM), University of California, Riverside, 2013*, intensitas X-

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



ray adalah fungsi dari ketebalan pada spesimen, termasuk komposisinya. Ratio pada intensitas x-ray I_a/I_b pada kedua elemen A dan B, (Substrat dan Lapisan tipis) dapat direlasikan dengan ratio *weight fractions* (atau *Atomic Ratio*) (C_a/C_b) yang sesuai. Persamaan 2.4, merupakan persamaan kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara intensitas x-ray dan *weight fractions* / *Atomic Ratio*. dimana K_{ab} adalah factor untuk efisiensi produksi dan deteksi dari X-ray. Sehingga semakin tinggi nilai intensitas x-ray (I_a) semakin tinggi pula besar komposisi $Wt\%$ (Ca).

$$\frac{c_a}{c_b} = k_{ab} \frac{I_a}{I_b} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.13. State of the Art

Penelitian yang dilakukan tentang lapisan tipis dari teknologi deposisinya dan hubungannya dengan biomedis sudah banyak dilakukan. Penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk, 2015, dengan judul *the combined effect of Cu and Ag on the nanostructure and mechanical properties of CrCuAgN* menunjukkan pengaruh kombinasi Ag dan Cu yang dideposisikan dengan metode *Physical Vapour Deposition* terhadap properti lapisan tipis yang dihasilkan. Pada penelitian tersebut ditunjukkan pula pengaruh gas Nitrogen terhadap struktur morfologi lapisan tipisnya, terlihat pada gambar 2.9, semakin meningkat gas Nitrogen, struktur morfologi yang dihasilkan semakin halus. Pada penelitian ini juga dilakukan metode kombinasi Ag dan Cu yang dilakukan dengan metode Mozaik.

Penelitian Ferreri dkk, 2014, dilakukan untuk aktivasi ion perak (Ag^+) yang memiliki sifat *antimicrobial* pada lapisan tipis Ag-ZrCN. pada penelitian ini, digunakan teknologi PVD untuk deposisi lapisan tipis. Hasil lapisan tipis tersebut lalu diaktivasi ion perak-nya agar mampu menunjukkan sifat *antimicrobial*nya terhadap bakteri. Aktivasi ion perak dilakukan dengan

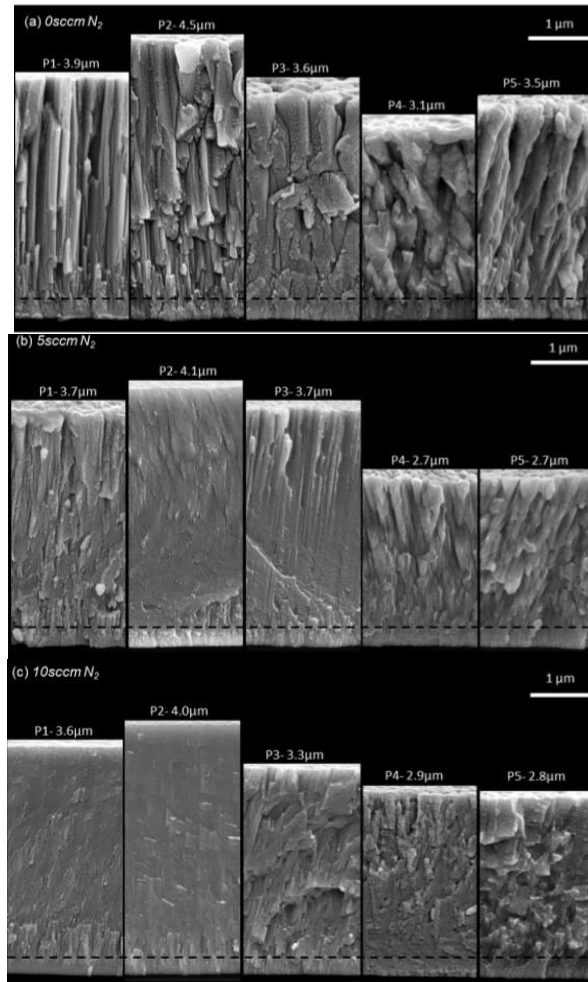


menggunakan larutan NaClO 5%. Sebelum dilakukan proses aktivasi dengan NaClO, material uji disterilkan dengan Autoclave dengan temperatur 121°C selama 15 menit. Setelah diberikan larutan NaClO 5%, lapisan tipis dibersihkan dengan *Aquades*, dan dikeringkan dengan udara yang steril. Perbedaan antara lapisan tipis Ag yang diberikan NaClO dan yang tidak dapat dilihat pada gambar 2.10, terlihat bahwa lapisan tipis yang telah aktif ion perak menunjukkan area inhibisi atau area bening dimana area tersebut tidak mengandung bakteri sama sekali, dan hal ini menjelaskan bahwa Lapisan Tipis Ag perlu dilakukan proses aktivasi agar dapat terlihat area inhibisi-nya.

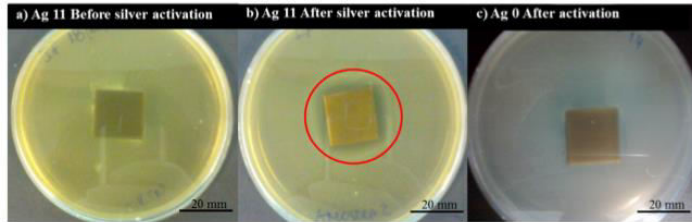
Penelitian Mendes dkk, 2012, dilakukan untuk melihat perbedaan kemampuan *antimicrobial* antara perak (Ag) Nanopartikel dan perak-tembaga (AgCu) Nanopartikel. Pada penelitian ini ditunjukkan bahwa AgCu Nanoalloys mampu memberhentikan pertumbuhan bakteri dan membunuhnya 99% walaupun hanya menggunakan konsentrasi sebanyak 0.5 µg/ml, dimana AgNPs tidak dapat menunjukkan inhibisi walaupun dalam konsentrasi yang jauh lebih tinggi, 150.0 µg/ml.

Jika dilihat dari seluruh penelitian sebelumnya, penelitian dengan melakukan variasi pengaruh perbandingan luas area target AgCu dan tekanan gas Nitrogen pada proses *Physical Vapour Deposition* yang akan mempengaruhi kemampuan sifat *anti microbial* menjadi hal yang menarik untuk dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.9, lapisan tipis AgCrCuN dengan variasi *flow* Nitrogen, (a) 0 Standard Cubic Centimeter per Minute (sccm) N₂, (b) 5 sccm N₂, (c) 10 sccm N₂. (Liu, dkk. 2015)



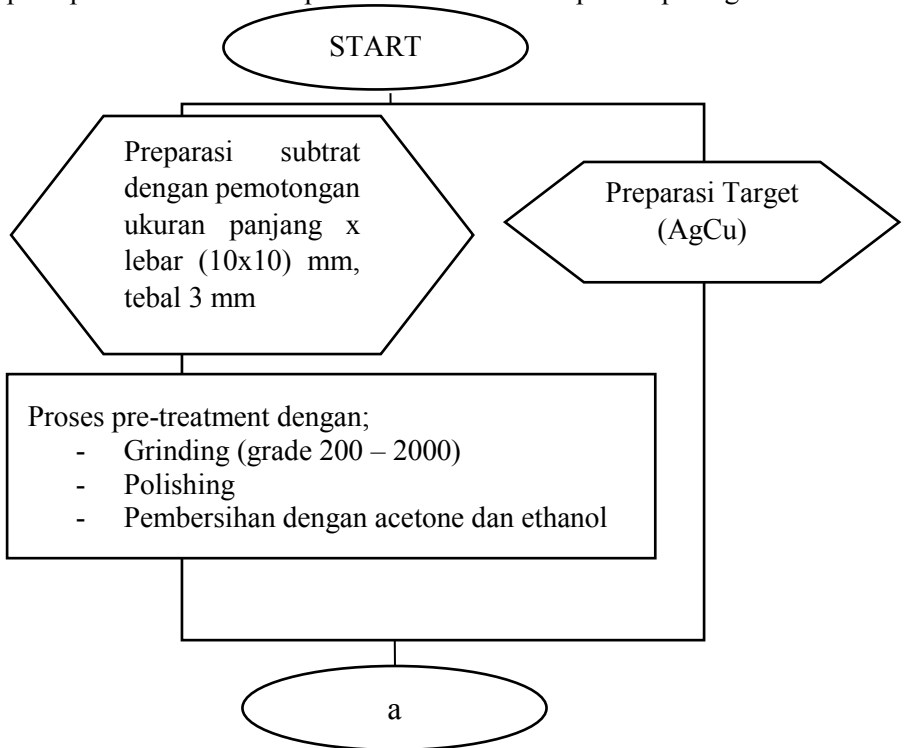
Gambar 2.10. Aktivasi dengan NaClO , (a) sebelum (b) setelah (c) lapisan tanpa Ag setelah aktivasi. (Ferreri, dkk. 2014)

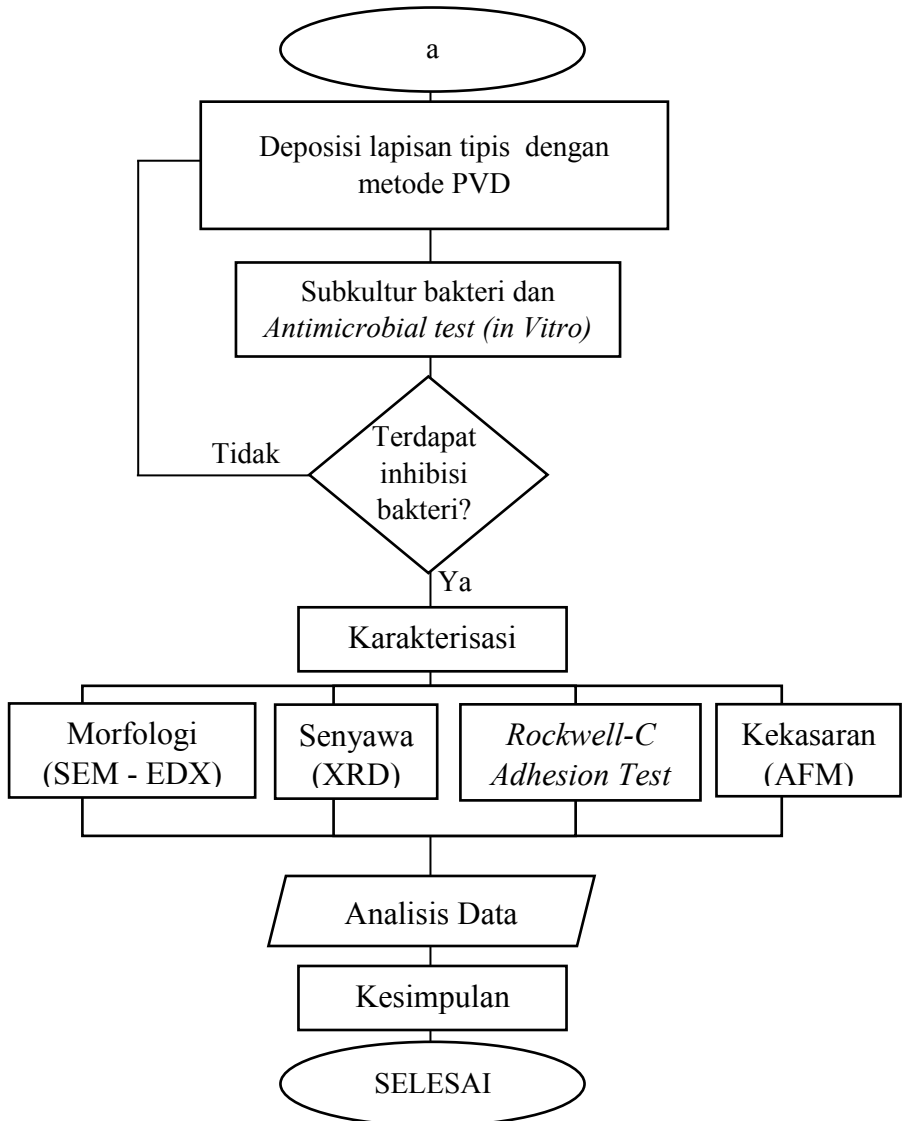


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

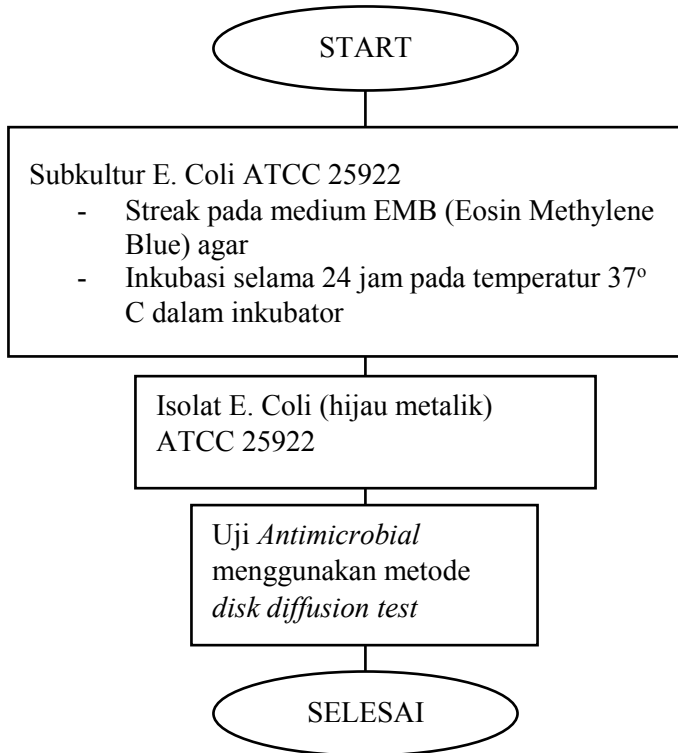
3.1. Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir untuk penelitian analisis pengaruh perbandingan luas area target dan tekanan gas Nitrogen pada proses PVD terhadap sifat *Antimicrobial* lapisan tipis AgCu.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir



Gambar 3. 2 Diagram alir subkultur bakteri dan pengujian antimicrobial



3.2. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ditunjukkan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Rancangan penelitian tugas akhir

No	Tekanan N ₂ (mbar) (x10 ⁻²)	Perbandingan luas area target (Ag:Cu) (%)	Pengujian				
			SEM -EDX	XRD	AFM	Rockwell -C Adhesion test	Antimi- crobial test
1	0	60:40	X	X	X	X	X
2		70:30	X	X	X	X	X
3		80:20	X	X	X	X	X
4	0,5	60:40	X	X	X	X	X
5	1		X	X	X	X	X
6	1,5		X	X	X	X	X

Pengujian tanpa merusak seperti SEM, EDX, XRD dapat dilakukan pada satu sampel yang sama, dilanjutkan dengan pengujian Microhardness test dan Adhesi test setelah melakukan pengujian tanpa merusak. *Antimicrobial* Test dilakukan pada satu sampel yang lain karena setelah pengujian ini sampel tidak dapat kembali digunakan. Sehingga, total sampel yang digunakan untuk setiap variable adalah 2 sampel. Total sampel yang digunakan sebanyak 12 sampel.

3.3. Bahan dan Alat penelitian

3.3.1 Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Perak (Pelat, 99,99%)
2. Tembaga (Pelat, 99,99%)
3. Stainless Steel 316L (Pelat)
4. Gas Argon (90 %)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



5. Gas Nitrogen (90 %)
6. Bakteri *Esctheria Coli*
7. Larutan NaClO 5%
8. Larutan Ethanol
9. Larutan Acetone

3.3.2 Alat Penelitian

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Mesin Physcal Vapour Deposition – RF Sputtering (BATAN)
2. Autoclave
3. SEM – EDX
4. XRD
5. Rockwell-C Hardness Machine
6. AFM
7. Kertas amplas grade 80 – 2000

3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Berikut adalah prosedur pelaksanaan penelitian analisis pengaruh perbandingan luas area target dan tekanan gas Nitrogen pada proses PVD terhadap sifat *Antimicrobial* lapisan tipis AgCu:

1. Pengumpulan sumber (buku, jurnal, diktat, dll) sebagai acuan penelitian.
2. Mempersiapkan alat dan bahan penelitian dengan mempertimbangkan metode yang digunakan, yaitu *Physical Vapour Deposition – RF Sputtering*.
3. Membuat lapisan tipis (*Thin Film*) AgCu yang berasal dari material target Ag 99,99 % dan Cu 99,99%. Untuk mendapatkan luas target yang diinginkan, pelat Cu dipotong menjadi 6 bagian dan dihitung luasnya sehingga mendapatkan perbandingan luas material target Ag dan Cu, yaitu 60:40, 70:30, dan 80:20.
4. Melakukan proses deposisi lapisan tipis AgCu dengan metode *PVD – RF sputtering* dengan variable tetap yaitu ; DC – Bias 800 V, *Time Deposition* 15 menit, *Power* 50 –



- 80 W, tekanan gas Argon 3×10^{-2} mbar. Proses ini dilakukan dalam chamber dengan keadaan vakum (1.6×10^{-2} mbar)
5. Melakukan variasi tekanan gas nitrogen pada proses deposisi lapisan tipis, dengan variasinya yaitu $0, 5 \times 10^{-2}$, 10^{-2} , $1,5 \times 10^{-2}$ mbar.
 6. Melakukan preparasi bahan untuk pengujian in vitro dengan metode disk diffusion test, dengan rincian menumbuhkan bakteri E. Coli di cawan dengan metode *Swab* dengan *cotton bud* dan dibiarkan selama kurang lebih 24 Jam.
 7. Melakukan preparasi sampel berupa mensterilkan bahan uji (stainless steel dengan lapisan tipis AgCu) dengan autoclave pada temperatur 121° C selama 15 menit, lalu direndam pada larutan NaClO 5% selama 5 menit untuk membuat mengaktifkan sifat *antimicrobial*. Lalu sampel dibersihkan dengan aquades secukupnya. Setelah itu mengeringkan bahan uji dengan cara dianginkan.
 8. Melakukan tes anti *microbial* pada sampel dengan meletakkan sampel pada cawan yang sudah diberikan bakteri *E.Coli* ditunggu selama 24 jam, lalu dilihat pengaruh sampel terhadap bakteri tersebut. Setelah itu mengukur luas area inhibisi sampel terhadap bakteri.
 9. Melakukan preparasi sampel untuk pengujain morfologi, unsur, dan mekanik.
 10. Melakukan pengujian sampel menggunakan SEM , EDX, XRD, dan *Rockwell-C adhesion test*.
 11. Menganalisis hasil pengujian
 12. Membuat kesimpulan dari hasil analisis.



3.5. Pengujian

3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive X-ray (EDX)

Pengujian menggunakan SEM-EDX dilakukan di Departemen Teknik Material ITS menggunakan instrument Scanning Electron Microscopy (SEM) tipe FEI INSPECT 550 dan dengan tujuan mengetahui topografi permukaan, unsur yang ada, dan senyawa yang terbentuk di dalam paduan. Perbesaran yang digunakan pada pengujian ini 5.000 x hingga 40.000 x

3.5.2 Atomic Force Microscopy (AFM)

Pengujian menggunakan AFM dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tujuan dari dilakukannya AFM untuk mengetahui kekasaran dan *topografi* dalam ukuran mikro pada permukaan lapisan tipis yang terbentuk.



3.5.3 X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan di Departemen Teknik Material ITS dengan tujuan untuk mengidentifikasi senyawa yang terbentuk pada Ag akibat paduan unsur Cu. XRD X'Pert Pro TYPE: PW3040/60 S.N : DY 3574 digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.3. Setelah mendapatkan grafik dari serangkaian pengujian menggunakan XRD maka selanjutnya akan diidentifikasi dengan bantuan software dan data base *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada material paduan.



Gambar 3. 3 Mesin uji XRD

3.5.4 Rockwell-C Adhesion Test.

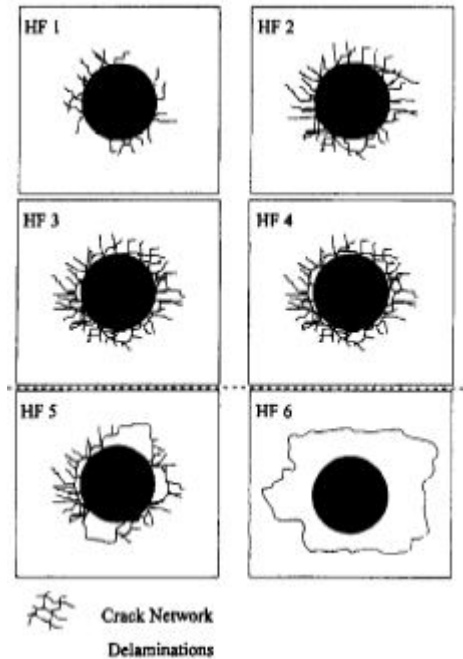
Pengujian untuk mengetahui kekuatan adhesi lapisan tipis dapat dilakukan secara kualitatif oleh *Rockwell-C Adhesion Test*. Pengujian ini dikembangkan di Jerman, memiliki standard *VDI Guidelines 3198*, (1991)



dan kemungkinan akan menjadi standard DIN dalam waktu dekat. (Jehn dkk, 1993). Setelah melakukan indentasi, dilakukan pengamatan dan analisa kerusakan pada lapisan tipis menggunakan pengamatan visual melalui mikroskop optik Olympus BX51M-RF (Gambar 3.4). hasil pengamatan visual dibandingkan dengan gambar 3.5. HF 1 – HF 4 merupakan hasil kekuatan adhesi yang baik, sedangkan HF 5 – HF 6 merupakan hasil kekuatan adhesi yang kurang baik. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Metalurgi, Departemen Teknik Material FTI-ITS.



Gambar 3. 4 Mikroskop optik Olympus BX51M-RF



Gambar 3. 5 Tingkat kekuatan adhesi (Heinke dkk, 1995)

3.5.6 Pengujian kemampuan antimicrobial menggunakan metode Disk Diffusion Test.

Pengujian ini bertujuan untuk melihat kemampuan anti *Microbial* dari material yang dihasilkan. Pengukuran area bening atau area yang tidak terkontaminasi oleh bakteri di sekitar sampel menjadi perhitungan kuantitatif untuk mengukur kemampuan anti *Microbial* dari sampel. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur manual, setelah itu dibandingkan hasil luas yang dihasilkan dengan sampel lain. Pengujian ini dilakukan di Departemen Biologi FMIPA ITS. Gambar 3.2 menunjukkan diagram alir preparasi dan pengujian *disk diffusion test*.



BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Pengaruh luas area target terhadap sifat antimicrobial

4.1.1 Analisa Komposisi

Hasil uji komposisi lapisan tipis dengan menggunakan Energy Dispersive X-ray (EDX) dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4. 1 Data Komposisi Lapisan Tipis AgCu (wt%)

Sampel	wt (%)			
	Ag	Cu	Cr	Fe
Ag ₆₀ -Cu ₄₀	59,28	26,6	3,57	10,55
Ag ₇₀ -Cu ₃₀	66,89	16,17	4,08	12,86
Ag ₈₀ -Cu ₂₀	67,08	17,84	4,04	11,04

Tabel 4. 2 Data Komposisi Lapisan Tipis AgCu (at%)

Sampel	at (%)			
	Ag	Cu	Cr	Fe
Ag ₆₀ -Cu ₄₀	44,84	34,16	5,6	15,41
Ag ₇₀ -Cu ₃₀	52,41	21,51	6,63	19,45
Ag ₈₀ -Cu ₂₀	52,79	23,84	6,59	16,78

Pada tabel tersebut, terdapat tiga sampel dengan variasi luas area target AgCu. Ag₆₀ -Cu₄₀ memiliki komposisi Ag paling sedikit dibanding sampel yang lain, ini disebabkan karena luas area target Ag pada sampel ini paling rendah dibanding sampel yang lain, dengan perbandingan 60% untuk Ag dan 40% untuk Cu. Komposisi yang terdeposit pada lapisan tipis adalah campuran dari



keduanya, (Ag dan Cu). Sedangkan untuk sampel Ag₈₀-Cu₂₀ memiliki komposisi Ag yang paling banyak, karena luas area target Ag pada sampel ini lebih luas dibanding sampel Ag₆₀-Cu₄₀ dan sampel Ag₇₀-Cu₃₀, yaitu 80% Ag dan 20% Cu. Sampel Ag₇₀-Cu₃₀ menggunakan luas area target 70 % Ag dan 30 % Cu. Komposisi lain (Cr dan Fe) didapatkan dari komposisi substrat (*Stainless Steel 316L*).

Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi luas area target Ag yang terpapar pada proses PVD, semakin besar komposisi Ag yang terdeposit pada lapisan tipis AgCu. Metode Mosaic berhasil dilakukan untuk mendepositkan Ag dan Cu ke lapisan tipis AgCu. Sedangkan untuk komposisi Cu ada kenaikan yang tidak signifikan antara lapisan tipis Ag₇₀-Cu₃₀ dan Ag₈₀-Cu₂₀. Persebaran komposisi yang tidak sesuai dengan luas area target ini disebabkan karena *ion bombardment* pada proses PVD terjadi secara acak (*random*) mengenai material target (Martin, 2011), sehingga besar komposisi Ag dan Cu pada lapisan tipis agar sama persis seperti luas area target yang terpapar sulit dibentuk.

4.1.2 Analisa Senyawa

Untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada lapisan tipis AgCu, dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil pengujian bisa dilihat pada gambar 4.1. Pada grafik tersebut, terlihat perbedaan pada hasil XRD substrat dan lapisan tipis AgCu.

Pada hasil XRD substrat, ditemukan 4 peak, yaitu pada $2\theta = 43.6^\circ$, 44.4° , 50.6° , dan 74.6° . Analisa hasil XRD menggunakan data JCPDS, untuk $2\theta = 43.6^\circ$, 44.4° , dan 74.6° secara berurutan adalah FCC Fe (111), FCC Fe (200), dan FCC Fe (220) (JCPDS 04-0829). Sedangkan peak pada 44.4° adalah Cr (110) (Liu, 2015).



Pada seluruh sampel yang telah terlapisi oleh AgCu, ditemukan peak yang luas (*broad*) di sekitar $2\theta = 39^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa terbentuknya FCC *metallic silver*, Ag (111) (JCPDS 04-0783). Seluruh sampel juga terdapat peak Cu pada $2\theta = 43.5^\circ$, 50.6° , dan 74.6° . Keberadaan Cu ini semakin diperkuat dengan meningkatnya intensitas pada $2\theta = 74.6^\circ$ yang menunjukkan bahwa substrat berhasil terlapisi oleh Cu. Cu yang terbentuk pada $2\theta = 43.5^\circ$, 50.5° , dan 74.6° adalah FCC Cu dengan bentuk kristal (111), (200), dan (220) secara berurutan (JCPDS 04-0836). Pada seluruh sampel juga ditemukan peak pada $2\theta = 44.4^\circ$ yang menunjukkan komposisi substrat masih terdeteksi, yaitu Cr. Namun nilai intensitas Cr semakin berkurang ketika semakin meningkatnya komposisi Cu pada substrat, sehingga pada sampel Ag₆₀ – Cu₄₀ peak Cr tidak lagi terdeteksi.

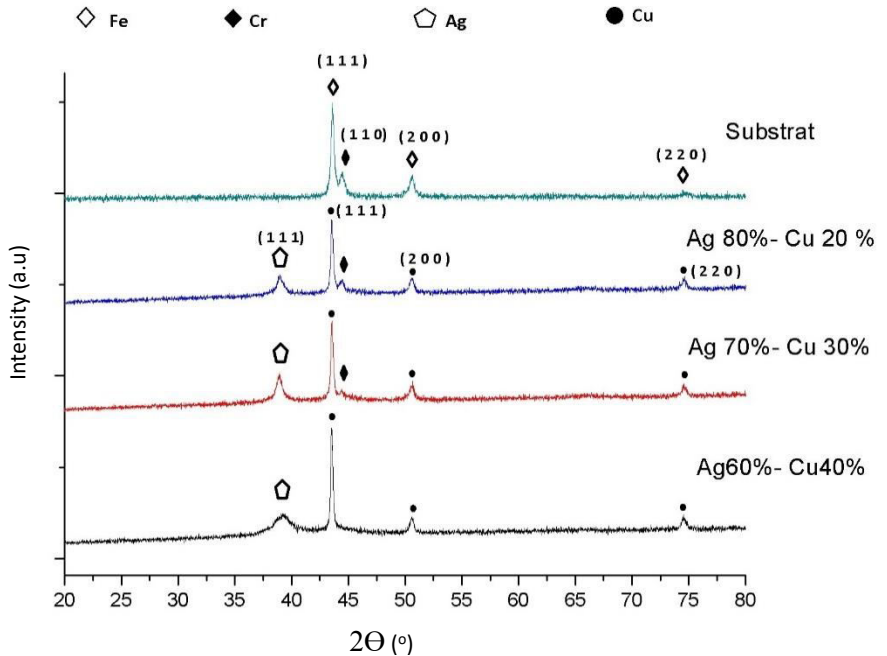
Jika dikolerasikan dengan EDX (tabel 4.1), seluruh sampel seharusnya memiliki peak substrat, namun pada kenyataannya, peak Fe dan peak Cu memiliki 2θ yang sangat berdekatan, seperti pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa peak sekitar $43,5^\circ$ ini memiliki 2 peak yang berdekatan. Hal ini membuktikan bahwa Fe sebenarnya terdeteksi pada seluruh sampel, namun karena peak Cu lebih tinggi dan dekat dengan peak Fe, maka peak Fe tidak terlihat secara jelas pada Gambar 4.1.

Peak Ag yang lebar seperti pada sampel Ag₆₀ -Cu₄₀ menunjukkan bahwa proses pembentukan kristal Ag yang tidak sempurna. Peak yang lebar ini menunjukkan terjadinya deformasi pada crystalline lattice dan adanya cacat pada crystalline sehingga terjadi kristalisasi Ag yang tidak sempurna. (Ahmadpourian dkk, 2016). *Lattice distortion* menyebabkan perubahan intensitas dan melebarkan peak pada hasil analisa XRD (Liu dkk, 2016). Sehingga Ag membentuk struktur *amorphous*. FCC *metallic copper*, Cu (111) terbentuk di peak $43,6^\circ$. Cu (111) memiliki

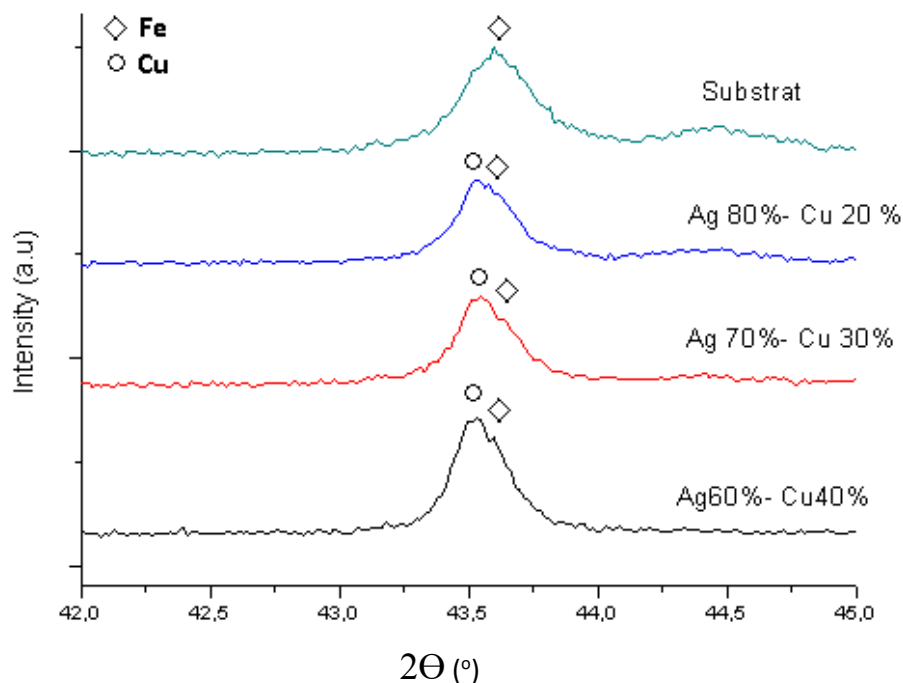


densitas atom yang tinggi dan diketahui sangat reaktif. (Ruparelia dkk, 2008).

Menurut penelitian Ahmadpourian dkk, 2016, pembentukan FCC *Metallic AgCu Alloy* terjadi karena masuknya atom Cu kedalam kristalin *lattice* Ag sehingga membentuk sedikit AgCu partikel. Diketahui bahwa probabilitas masuknya atom Ag kedalam kristal Cu rendah. Menariknya, pembentukan dari *nanometric AgCu alloy particles* bisa didapatkan pada waktu deposisi yang sangat singkat dengan orientasi kristal (111). Pada penelitian ini, FCC *Metallic Alloy AgCu* (111) tidak ditemukan pada grafik XRD yang dihasilkan. Pada hasil analisis XRD, peak FCC *Metallic AgCu Alloy* (111) akan terlihat diantara peak Ag dan Cu, yaitu di $2\theta = 40,52^\circ$. (Ahmadpourian dkk, 2016)



Gambar 4. 1 Perbedaan hasil pengujian XRD pada tiap sampel beserta substratnya



Gambar 4. 2 Peak Fe dan Peak Cu yang berdekatan pada hasil XRD ($2\theta = 42^\circ - 45^\circ$)

4.1.3 Analisa Kekasaran

Hasil uji kekasaran didapatkan dengan menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM). Data hasil mean tinggi (Sa) dan tinggi maksimum (Sz) dapat dilihat pada Tabel 4.3. Kekasaran bisa dianalisa menggunakan Sa dan Sz, material akan lebih terlihat kasar ketika Sa dan Sz memiliki nilai yang lebih tinggi. Sa dan Sz adalah nilai yang didapatkan dari perluasan nilai mean kekasaran (Ra) dan tinggi maksimum kekasaran (Rz) dalam bentuk 3D (Olympus, 2013). Pada tabel tersebut, terlihat bahwa sampel Ag₇₀-Cu₃₀

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA



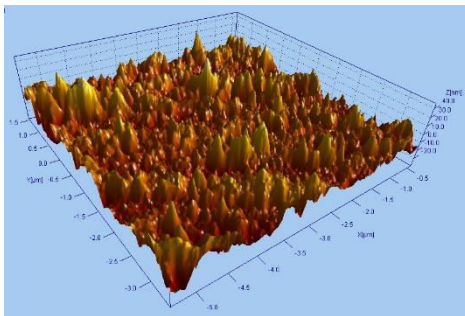
memiliki permukaan yang paling kasar karena Sa dan Sz yang dihasilkan paling tinggi (9,09 nm dan 93,1 nm). Pada Gambar 4.3, terlihat bahwa kekasaran pada gambar (b) memiliki permukaan yang paling kasar dibanding yang lain. Sampel Ag₈₀-Cu₂₀ menunjukkan nilai Sa yang paling kecil dibanding sampel lain, yaitu 5,71 nm. Walaupun Sz pada sampel Ag₈₀-Cu₂₀ lebih tinggi dibanding Ag₆₀-Cu₄₀, tetapi pada Gambar 4.3 permukaan yang paling halus terlihat pada sampel (c) yaitu dengan Ag₈₀-Cu₂₀. Sz Ag₈₀-Cu₂₀ yang dihasilkan lebih tinggi dibanding Ag₆₀-Cu₄₀ dikarenakan terdeteksinya puncak tinggi yang tidak merata pada permukaan sampel.

Penelitian Wu dkk, 2015, menunjukkan hubungan antara kekasaran dengan *wettability* pada lapisan tipis dengan *reactive* dan *non-reactive wetting system*. *Reactive wetting system* merupakan sistem kemampuan basah dimana permukaan bereaksi dengan medium larutannya, sedangkan *non-reactive wetting system* merupakan mode kemampuan basah dimana permukaan tidak beraksi dengan medium larutannya. *Wettability* pada *non-reactive wetting system* akan semakin meningkat seiring dengan tingginya kekasaran. Berbeda dengan *reactive wetting system*, *wettability* akan semakin menurun ketika kekasaran meningkat. Pada penelitian ini lapisan tipis AgCu akan bereaksi dengan medium larutan NaClO maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini menggunakan *reactive wetting system*. Sehingga, besar kekasaran pada lapisan tipis ini akan mempengaruhi kecepatan reaksi pada seluruh permukaan AgCu. reaksi yang lebih cepat untuk keseluruhan permukaan akan didapatkan oleh permukaan yang lebih halus dibandingkan permukaan yang kasar. Pada Gambar 4.3, terlihat bahwa kekasaran pada gambar (b) memiliki permukaan yang paling kasar dibanding yang lain, sedangkan untuk kekasaran yang paling halus terlihat pada sampel (c) yaitu dengan Ag₈₀-Cu₂₀.

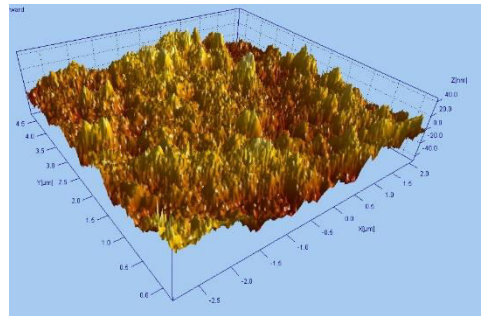


Tabel 4. 3 Data AFM Sa dan Sz pada lapisan tipis AgCu

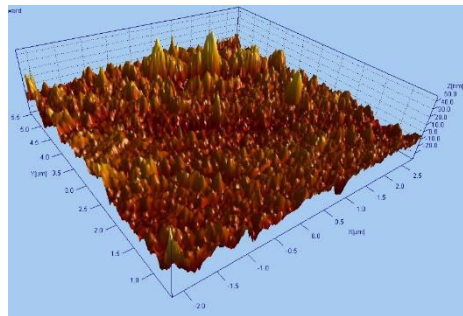
Sampel	Sa (nm)	Sz (nm)
Ag ₆₀ -Cu ₄₀	6,25	75,4
Ag ₇₀ -Cu ₃₀	9,09	93,1
Ag ₈₀ -Cu ₂₀	5,71	84,7



(a)



(b)



(c)

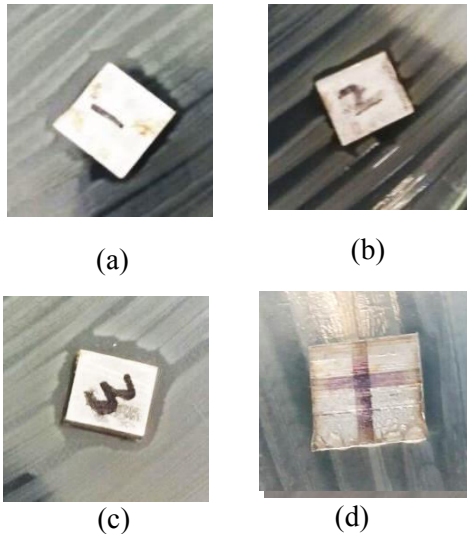
Gambar 4. 3 hasil AFM – Topografi pada permukaan sampel; (a) 60% Ag 40% Cu, (b) 70% Ag 30% Cu, (c) 80%Ag 20% Cu

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA



4.1.4 Analisa Kemampuan Antimicrobial

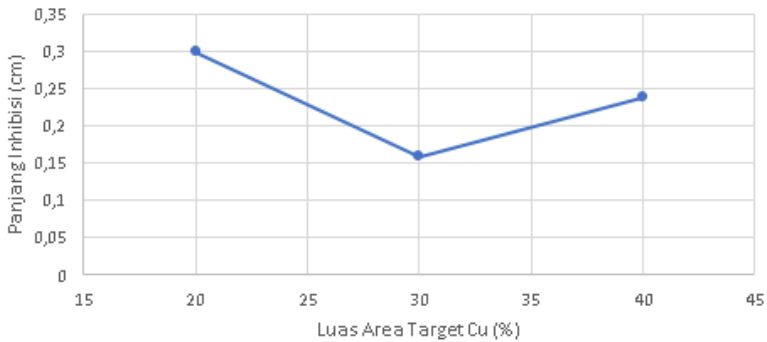
Seluruh spesimen dilakukan uji *antimicrobial* dengan metode *disk diffusion test*. Seluruh spesimen menunjukkan zona inhibisi pada media bakteri *E. Coli*. Gambar 4.4 menunjukkan visualisasi zona inhpibisi di sekitar spesimen.



Gambar 4. 4 Area Inhibisi Lapisan Tipis AgCu dengan variasi Luas Area Target ; (a) 60% Ag 40%Cu, (b) 70% Ag 30% Cu, (c) 80% Ag 20% Cu. (d) *Stainless Steel 316L* tanpa perlakuan

Pada gambar tersebut, terbukti bahwa lapisan tipis AgCu berhasil melakukan inhibisi terhadap bakteri di sekelilingnya, sedangkan spesimen tanpa lapisan tipis tidak menunjukkan kemampuan membunuh bakteri sekitarnya. Perbandingan nilai inhibisi dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Pada Gambar 4.5, terlihat bahwa spesimen Ag₇₀-Cu₃₀ (Ag 66,89%) memiliki kemampuan inhibisi paling rendah dibanding yang lain. Hal ini disebabkan karena sampel ini memiliki kekasaran



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Panjang Inhibisi Lapisan Tipis AgCu dengan pengaruh komposisi Ag (wt%)

yang paling tinggi dan ketebalan yang paling tipis. Sehingga, reaksi untuk membentuk agen *antimicrobial* pada permukaan lapisan tipis Ag₇₀-Cu₃₀ lebih sedikit dibanding spesimen lain. Hal ini menyebabkan agen *antimicrobial* yang membunuh bakteri *E.Coli* lebih sedikit. Spesimen yang paling baik kemampuan *antimicrobial*-nya adalah Ag₈₀-Cu₂₀, disamping permukaannya yang paling halus daripada spesimen lain, komposisi Ag pada spesimen ini lebih banyak dibanding yang lain (67,08% wt).

Sehingga, luas area target berpengaruh terhadap kemampuan *antimicrobial* lapisan tipis AgCu, luas area target Ag yang lebih luas dapat mendepositkan Ag lebih banyak, dimana Ag ini berperan penting dalam pembunuhan bakteri.

Faktor lain seperti kekasaran permukaan juga mempengaruhi kemampuan *antimicrobial*. Kekasaran akan mempengaruhi *Wettability* pada spesimen. Permukaan yang paling kasar (Ag₇₀-Cu₃₀) (tabel 4.4) memiliki *Wettability* rendah, sehingga dapat mengurangi kecepatan reaksi kimia membentuk agen

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA



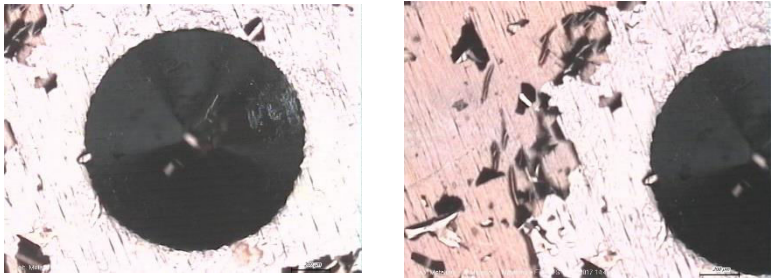
antimicrobial untuk tersebar secara merata keseluruh permukaan spesimen.

4.1.5 Analisa Adhesi

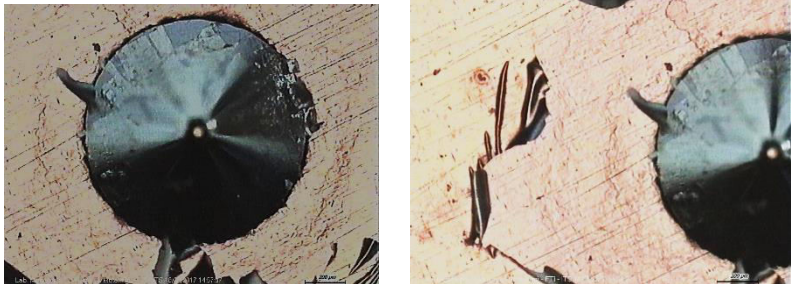
Hasil kemampuan Adhesi dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan pendekatan *Rockwell -C Adhesion Test*. Pengujian ini dilakukan dengan merusak lapisan tipis hingga menyebabkan kegagalan secara kohesif dan adhesif (Heinke, dkk. 1995). Hasil uji dibandingkan dengan standart yang telah dijelaskan pada bab III.

Gambar 4.6 menunjukan hasil pengujian *Rockwell – C Adhesion Test*. Pada gambar tersebut, seluruh lapisan tipis AgCu tidak memiliki adhesi yang baik, jika dibandingkan dengan standart hasil yang ada pada bab III, penelitian Heinke dkk, 1995, hasil uji adhesi pada seluruh sampel adalah HF 6 (gambar 3.5). Delaminasi yang dihasilkan pada seluruh sampel besar, sehingga lapisan tipis dapat terpisah dari substrat dengan mudah.

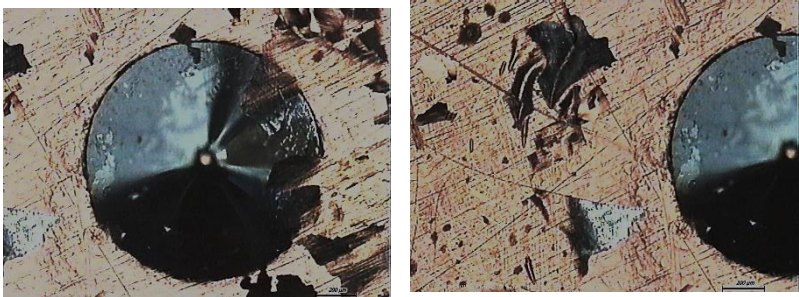
Jika dua permukaan solid bersih dan *adsorbates (oxides dan lubricantes)* telah hilang, adhesi atau ikatan antar dua permukaan akan selalu muncul. Daya rekat yang alami akan terbentuk pada *interface* antara kedua permukaan solid ketika kedua metal mengalami kontak. (Buckley, 1981) Adhesi pada lapisan tipis dipengaruhi oleh bermacam *properties*, termasuk kekasaran dan kebersihan substrat, struktur lapisan tipis, dan sifat mekanik pada lapisan tipis (Lackner dkk, 2007).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 6. Hasil Pengujian Adhesi lapisan tipis AgCu, dilihat dari tengah dan sekitar indentasi; (a) $\text{Ag}_{60}\text{-Cu}_{40}$ (b) $\text{Ag}_{70}\text{-Cu}_{30}$ (c) $\text{Ag}_{80}\text{-Cu}_{30}$

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA



Pada penelitian ini, adhesi yang dihasilkan tidak baik karena substrat yang dihasilkan halus, sehingga tidak terjadi *mechanical interlocking* antara substrat dan lapisan tipis AgCu.

4.2 Pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap sifat antimicrobial

4.2.1 Analisa Komposisi

Hasil perbedaan komposisi dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6. Penambahan tekanan Nitrogen sebesar $0,5 \times 10^{-3}$ mbar ditunjukkan pada sampel $N_{2(0,5)}$, sedangkan $N_{2(1)}$ dan $N_{2(1,5)}$ adalah penambahan tekanan gas Nitrogen sebesar 1×10^{-3} mbar dan $1,5 \times 10^{-3}$ mbar secara berurutan.

Tabel 4. 4 Perbandingan komposisi lapisan tipis AgCu (Wt %)

Sampel	Wt (%)			
	Ag	Cu	Cr	Fe
$N_{2(0,5)}$	49,25	23,71	5,91	19,93
$N_{2(1)}$	53,32	24,36	4,97	16,78
$N_{2(1,5)}$	51,77	21,63	6,12	19,22

Tabel 4. 5 Perbandingan komposisi lapisan tipis AgCu (At%)

Sampel	At (%)			
	Ag	Cu	Cr	Fe
$N_{2(0,5)}$	32,93	26,91	8,19	25,74
$N_{2(1)}$	37,58	29,15	7,27	22,84
$N_{2(1,5)}$	34,96	24,8	8,57	25,47

Terlihat bahwa perbedaan komposisi AgCu pada masing masing sampel tidak signifikan, hal ini membuktikan bahwa tekanan gas nitrogen tidak mempengaruhi nilai komposisi Ag



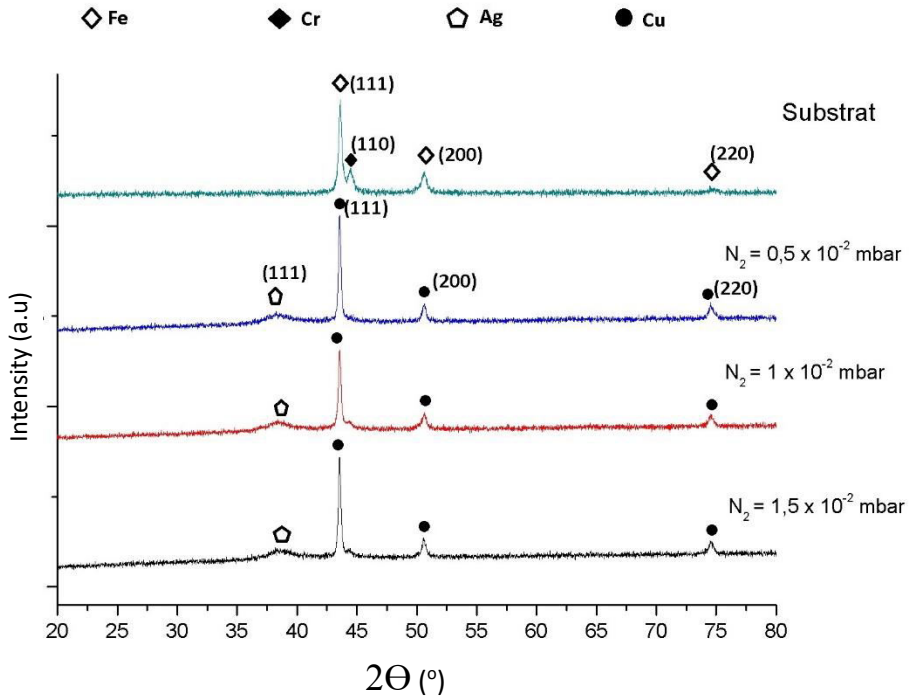
maupun Cu pada sampel. Seperti yang dijelaskan pada 4.1.1, Perbedaan komposisi yang terjadi pada setiap sampel karena *ion bombardment* yang terjadi pada proses PVD secara *random* menyerang material target, sehingga besar komposisi Ag dan Cu akan berbeda pada setiap sampel (tidak tetap).

4.2.2 Analisa Senyawa

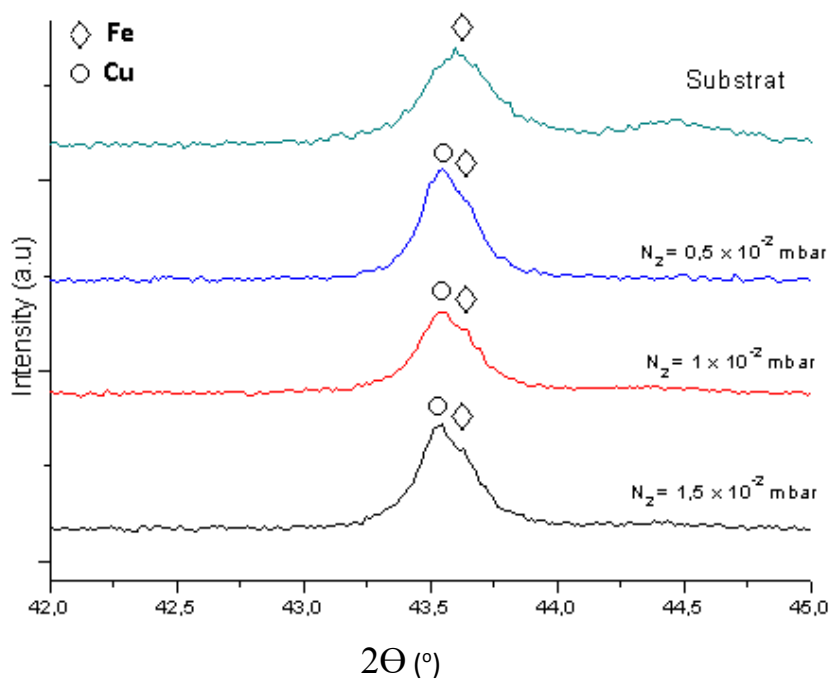
Hasil pengujian XRD yang terbentuk pada variasi tekanan gas Nitrogen tidak berbeda jauh dengan hasil pengujian XRD yang terbentuk pada variasi luas area target pada bab 4.1.2. hasil pengujian XRD pengaruh tekanan gas nitrogen bisa dilihat pada gambar 4.7.

Peak Ag (111) pada seluruh sampel memiliki lebar peak yang luas. Seperti yang dijelaskan pada bab 4.1.2, lebar peak yang luas ini menunjukkan pembentukan kristal Ag pada lapisan tipis ini tidak sempurna. Sehingga Ag yang terbentuk berupa *amorphous*. Sampel ini juga menunjukkan peak Cu (111) pada seluruh sampel. Namun, peak FCC *Metallic Alloy* AgCu (111) tetap tidak terbentuk pada ketiga sampel.

Terlihat bahwa grafik XRD seluruh sampel memiliki karakteristik yang sama dengan sampel Ag₆₀ – Cu₄₀ pada bab 4.1.2. Cr tidak terbentuk pada hasil XRD. Hal ini disebabkan karena luas area perbandingan Cu pada seluruh sampel digunakan sama dengan sampel Ag₆₀ – Cu₄₀. Pada gambar 4.8. terlihat juga bahwa peak Fe dan Peak Cu berdekatan, sehingga peak Fe tidak terlihat pada gambar.. seperti yang dijelaskan pada bab 4.1.2



Gambar 4. 7 Perbandingan hasil XRD tiap sampel dengan tekanan Nitrogen yang berbeda,



Gambar 4. 8 Peak Fe dan Peak Cu yang berdekatan pada sampel dengan variasi Nitrogen ($2\theta = 42^\circ - 45^\circ$)



4.2.3 Analisa Kekasaran

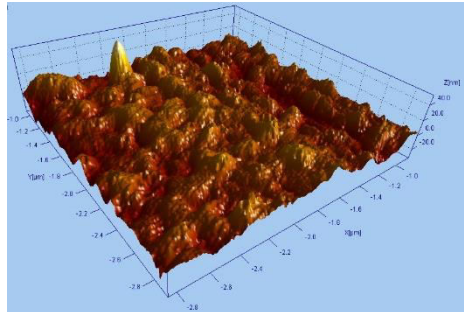
Penambahan gas Nitrogen pada proses PVD mempengaruhi kekasaran permukaan lapisan tipis. Pada penelitian Jiang dkk (2017), tekanan gas Nitrogen mempengaruhi *deposition rate* pada proses PVD, hal ini disebabkan oleh *poisoning* yang terjadi pada material target. *Poisoning* adalah proses terbentuknya produk *nonconductive* pada permukaan target. Sehingga, meningkatnya tekanan gas nitrogen akan menurunkan *deposition rate* pada proses PVD yang menyebabkan kekasaran permukaan lapisan tipis menurun.

Pada penelitian ini, didapatkan nilai kekasaran permukaan dengan menggunakan parameter S_a dan S_z yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, jika dilihat dari kedua nilai S_a dan S_z , terlihat bahwa kekasaran yang paling halus didapatkan oleh sampel $N_{2(1,5)}$. S_a yang dihasilkan tidak terlalu jauh dengan sampel $N_{2(1)}$, namun nilai S_z terendah didapatkan oleh sampel $N_{2(1,5)}$.

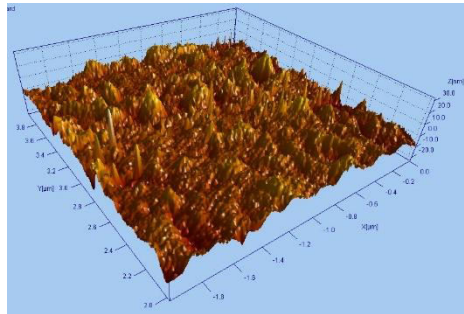
Tabel 4. 6 Perbandingan nilai S_a dan S_z tiap sampel

Sampel	S_a (nm)	S_z (nm)
$N_{2(0,5)}$	5,67	85,1
$N_{2(1)}$	2,99	55
$N_{2(1,5)}$	3,07	43,3

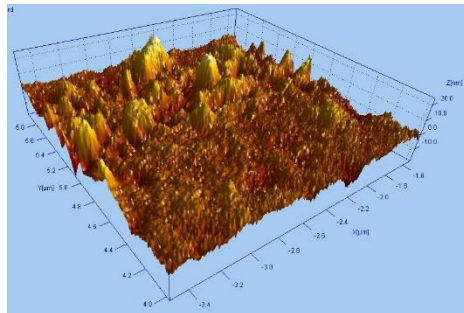
Pada Gambar 4.9. Menunjukkan visualisasi kekasaran permukaan pada masing-masing sampel. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa permukaan $N_{2(1,5)}$ paling halus dan $N_{2(0,5)}$ paling kasar. Sehingga, meningkatnya tekanan gas Nitrogen pada proses PVD akan menurunkan kekasaran permukaan pada lapisan tipis.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 9 Perbandingan AFM- Topografi permukaan sampel tiap spesimen dengan variasi tekanan gas Nitrogen; (a) $0,5 \times 10^{-3}$ mbar (b) 1×10^{-3} mbar (c) $1,5 \times 10^{-3}$ mbar

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA



4.2.4 Analisa kemampuan antimicrobial

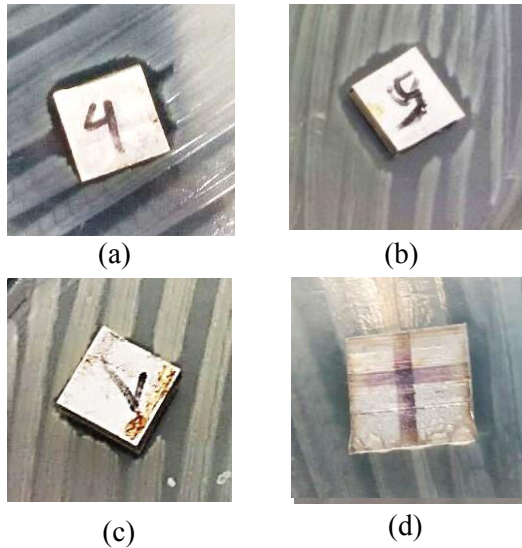
Hasil pengujian *antimicrobial* menggunakan *disk-diffusion test* secara visual dapat dilihat pada Gambar 4.10. Pada gambar tersebut, terbukti bahwa lapisan tipis AgCu berhasil melakukan inhibisi terhadap bakteri di sekelilingnya, sedangkan spesimen tanpa lapisan tipis tidak menunjukkan kemampuan membunuh bakteri sekitarnya. Perbandingan nilai inhibisi dapat dilihat pada Gambar 4.11. Terlihat bahwa zona inhibisi yang paling luas didapatkan oleh sampel $N_{2(1)}$, dan yang paling rendah terlihat pada sampel $N_{2(1,5)}$.

Grafik pada Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan zona inhibisi dengan variasi tekanan gas nitrogen. Grafik tersebut menunjukkan bahwa tekanan optimal didapatkan pada sampel $N_{2(1)}$. Tekanan gas nitrogen tidak secara langsung berpengaruh terhadap kemampuan *antimicrobial* pada sampel, tetapi variasi ini akan mempengaruhi kekasaran lapisan tipis yang terdeposit di substrat. Kemampuan *antimicrobial* pada sampel dipengaruhi oleh keberadaan agen *antimicrobial*, keberadaan agen *antimicrobial* ini dipengaruhi ketika adanya aktivasi material *antimicrobial* menggunakan larutan NaClO yang telah dijelaskan prosedurnya pada bab II. Reaksi yang terjadi pada permukaan juga dipengaruhi oleh *wettability* pada permukaan dimana *wettability* dipengaruhi kekasaran permukaan lapisan tipis seperti yang dijelaskan pada 4.1.2.

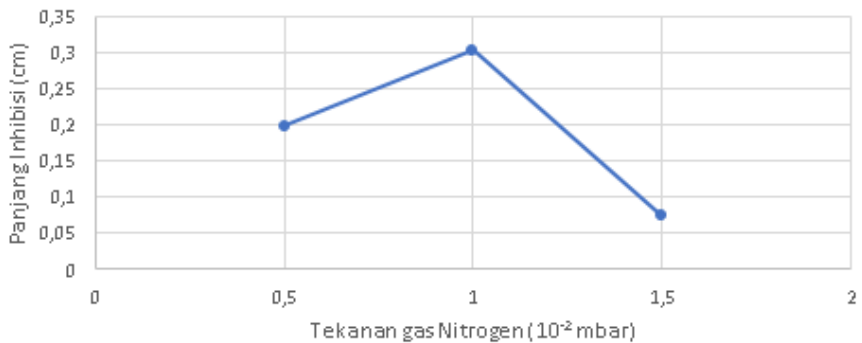
Pada hasil analisa kekasaran dan komposisi, sampel $N_{2(1)}$ memiliki komposisi Ag yang paling banyak serta permukaan yang halus. Sampel $N_{2(1,5)}$ memang menunjukkan permukaan yang paling halus dibanding sampel yang lain, namun tekanan Nitrogen yang terlalu besar juga menyebabkan tekanan kerja pada proses PVD terlalu besar, sehingga elektron tidak akan mendapatkan energi yang cukup untuk menyerang gas atom, dan ionisasi sulit terjadi (Cao G, 2004).



Permukaan yang halus juga menyebabkan reaksi pada permukaan tersebut berjalan lebih cepat dibanding yang lain, saat direaksikan dengan larutan NaClO , agen *antimicrobial* yang terbentuk banyak yang terlarut, sehingga mengurangi kemampuan inhibisi saat dilakukan uji *antimicrobial*.



Gambar 4. 10 zona inhibisi pada tiap sampel dengan variasi tekanan gas Nitrogen ; (a) $0,5 \times 10^{-3}$ mbar , (b) 1×10^{-3} mbar, (c) $1,5 \times 10^{-3}$ mbar, (d) *Stainless Steel 316L* tanpa perlakuan



Gambar 4. 11 Grafik pengaruh tekanan gas Nitrogen terhadap kemampuan antimicrobial

4.2.5 Analisa kekuatan adhesi

Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell-C Adhesion Test*. Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian secara visual menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 5x. gambar tersebut menunjukkan adhesi yang dihasilkan tidak memuaskan, karena jika dikolerasikan dengan standard yang ada pada penelitian Heinke, dkk, 1995, hasil kegagalan yang dibentuk menunjukkan kekuatan adhesi dengan tingkat HF 5, dimana HF 5 menunjukkan kekuatan adhesi yang tidak baik.

Peningkatan kekuatan adhesi dengan menggunakan gas N_2 pada lapisan tipis sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Yang, dkk, 2005). Pada penelitian tersebut, kemampuan adhesi meningkat ketika plasma N_2 digunakan untuk *pre-treatment* substrat sebelum dilapiskan oleh tembaga (Cu). Perlakuan ini



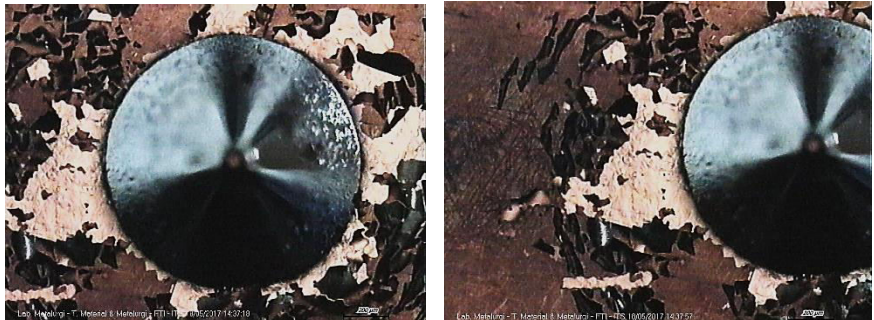
dapat menurunkan energi permukaan, meningkatkan kebersihan permukaan dan menurunkan timbulnya oksidasi pada permukaan. Sehingga, kekasaran dan *mechanical bonding* akan meningkat setelah *pre-treatment* oleh plasma N₂. Hasil yang didapatkan menunjukan konduktivitas dan adhesi lapisan tipis Cu pada substrat PI meningkat seiring dengan meningkatnya waktu proses *pre-treatment* dengan plasma N₂.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Adhesi lapisan tipis AgCu, dilihat dari tengah dan sekitar indentasi; (a) $N_{0,5}$ (b) N_1 (c) $N_{1,5}$



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan :

1. Luas area target yang berbeda menyebabkan perbedaan komposisi yang terdeposisi pada substrat. Komposisi Perak paling besar didapatkan pada spesimen Ag₈₀-Cu₂₀, dengan nilai 67,08% wt Ag dan Cu hanya 17,84%wt. Hasil EDX juga mendeteksi unsur Cr (Chromium) dan Fe (Ferrous) yang merupakan komposisi dari substrat (SS 316L). Kemampuan *antimicrobial* paling baik ditunjukkan oleh luas permukaan area target Ag yang paling besar.
2. Meningkatnya tekanan gas Nitrogen pada proses PVD menurunkan nilai *Roughness* pada lapisan tipis. Nilai *Roughness* yang terkecil didapatkan oleh spesimen dengan tekanan gas Nitrogen tertinggi ($N_2 = 1,5 \times 10^{-2}$ mbar), yaitu dengan nilai Sa 3,07 dan Sz 43,3 nm. *Roughness* dapat mempengaruhi *wettability* lapisan tipis. Kemampuan *antimicrobial* paling baik didapatkan pada tekanan gas Nitrogen 1×10^{-2} mbar, yang merupakan tekanan optimum untuk membentuk lapisan tipis AgCu dengan permukaan yang halus.
3. Kemampuan *Antimicrobial* yang dihasilkan dipengaruhi oleh *Roughness* dan komposisi lapisan tipis. *Roughness* mempengaruhi *wettability* lapisan tipis. *Wettability* mempengaruhi persebaran reaksi pembentukan agen *Antimicrobial* pada lapisan tipis. Kandungan Ag (Perak) yang lebih besar menghasilkan kemampuan *antimicrobial* yang lebih baik. Fase *Metallic Alloy AgCu* tidak terbentuk pada lapisan tipis AgCu dengan waktu deposisi yang lama.



Kekuatan adhesi yang dihasilkan pada seluruh sampel kurang baik.

5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material *antimicrobial* dalam bentuk lapisan tipis.
2. Adanya penelitian lain mengenai sintesis lapisan tipis dari material *antimicrobial* lainnya.
3. Melakukan *pre-treatment* dengan gas N_2 atau O_2 agar mendapatkan adhesi yang lebih baik, serta kebersihan permukaan yang optimal.
4. Menggunakan waktu deposisi yang lebih lama agar mendapatkan hasil yang lebih tebal.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadpourian A, Luna C, Boochani A, Arman A, Achour A, Rezaee S, Naderi S. 2016. "The Effect of Deposition Time on Surface Morphology, Structural, Electrical and Optical Properties of Sputtered Ag-Cu Thin Films". **Eur. Phys. J. Plus** (2016) 131:381.
- Alexandru, M.G. 2016. **Surface Chemistry of Nanobiomaterials : Applications of Nanobiomaterials.**
- Atiyeh. BS, Costagilola M, Hayek SN, Dibo SA. 2007. "Effect of silver on burn wound infection control and healing: Review of the literature "
- Azam A, Ahmed AS, Oves M, Khan MS, Memic A, 2012a. "Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains". **Int. J. Nanomed.** 7, 3527-3535.
- Azam A, Arham As, Oves M, Khan MS, Habib SS, Memic A, 2012b. "Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria : a comparative study". **Int. J. Nanomed.** 7, 6003-6009.
- Azom. 2001. **Stainless Steel – Grade 316 (UNS S31600).** <URL:<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=863>>
- Ben-Nissan B, Latella BA, **Bendavid** A. 2011. "Biomedical Thin Films : Mechanical Properties".
- Berke, I., Tierno Jr., P.M. .1996. "Comparison of efficacy and cost-effectiveness of BIOMIC VIDEO and Vitek antimicrobial susceptibility test systems for use in



- the clinical microbiology laboratory”. **J. Clin. Microbiol.** **34**.
- Bloomfield, S.F.1996. “Chlorine and iodine formulations”. **In: Ascenzi, J.M. (Ed.), Handbook of Disinfectants and Antiseptics.** Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, pp.133-158
- Boundless. 2016. **Kirby-Bauer Disk Susceptibility Test. Boundless Microbiology** .
<URL:<https://www.boundless.com/microbiology/textbooks/boundless-microbiology-textbook/antimicrobial-drugs-13/measuring-drug-susceptibility-157/kirby-bauer-disk-susceptibility-test-791-6152/>>
- Brady RA, Leid JG, Costerton JW, Shirtliff ME.2006. “Osteomyelitis : Clinical Overview and Mechanisms of Infection Persistence”. **Clin Microbiol Newsl.** Doi: 10.1016/j.clinmicnews.2006.04.001
- Buckley DH. “The Metal-to-metal Interface and Its Effect on Adhesion and Friction”. Levis Research Center. Ohio.
- Bulletin SL-1002. “Sputtering as a Deposition Process. Hohman Plating and Manufacturing”. Dayton, Ohio.
- Cao G. 2004.**Nanostructures and Nanomaterials : Synthesis, Properties, and Applications.** Imperial College Press: London.
- Cecil R, McPHEE JR. **1959.** “the sulfur chemistry of proteins”. **Adv Protein Chem.**
- Central Facility for Advanced Microscopy and Microanalysis (CFAMM), University of California Riverside. 2013. **Energy Dispersive X-ray (EDS)**
-



Microanalysis of Thin Specimens in the Analytical Electro Microscope.

- Chapple JB, Greville GD. 1954. "Effect of silver ions on mitochondrial adenosine triphosphatase".
- Douglas RM, Luiz FG, Aline ST, Emerson R. 2009. "The Growing Importance of materials that prevent microbial adhesion: antimicrobial effect of medical devices containing silver". **International Journal of Antimicrobial Agents**.
- Du J, Han B, Liu Z, Liu Y, Kang D. 2007. "Control Synthesis of Silver Nanosheets, Chainlike sheets, and Microwires via a Simple Solvent – Thermal Method". **Cryst. Growth Des.** 7. 900-904
- Endang LS, Severin JA, Filius PM, Kuntaman K, Offra DD, Hadi U, Wahjono H, Verbrugh HA. 2008. "Comparison of the accuracy of disk diffusion zone diameters obtained by manual zone measurements to that by automated zone measurements to determine antimicrobial susceptibility". **Journal of Microbiological Methods**.
- Erlin Z, Wang X, Chen M, Hou B. 2016. "Effect of the existing form of Cu element of the mechanical properties, bio-corrosion and antibacterial properties of Ti-Cu Alloys for Biomedical application". **Materials Science and Engineering C**.
- Falleta E, Bonini M, Fratini M, Nostro AL, Becheri A, Pesavento G, Nostro PL, Canton P, Baglioni P. 2008. "Clusters of poly(acrylates) and silver nanoparticles: structure and applications for antimicrobial fabrics". **J, Phys. Chem.C**.



- Farouqi AMD, Chauhan PS, Moorthy PK, Shaik J.2010. "Extraction of silver nanoparticles from the leaf extracts of ClerodendrumInerme". **Dig. J. Nanomater.Biostruct. 5**
- Felmingham D, Brown DF. 2001. "Instrumentation in antimicrobial susceptibility testing" **J. Antimicrob. Chemother.** 48 (Suppl 1).
- Feng QL, Wu J, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO. 2000. "A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia Coli and Staphylococcus aureus". **J. Biomed.Mater.Res.** **52** .662 – 668
- Ferreri L, Calderon SV, Galindo RE, Palacio C, Henriques M, Piedade AP, Carvalho S. 2014. "Silver activation on thin films of Ag-ZrCN coatings for antimicrobial activity". **Materials Science and Engineering C** **55** (2015) 547-555
- Gerenser, L.J. 1988. "An X-ray Photoemission Spectroscopy Study of Chemical Interaction at Silver/Plasma Modified Polyethylene Interfaces : Correlations With Adhesion". **J. Vac. Sci. Technol.**
- Hardes J, Ahrens H, Gebert C, Streibuerger A, Buerger H, Erren M.2007. "Lack of Toxicological side-effects in silver-coated megaprotheses in humans. **Biomaterials** **28** (2007) **2869-2875**
- Heinke W, Leyland A, Matthews A, Berg G, Friedrich C, Broszeit E.1995. "Evaluation of PVD nitride coatings, using impact, scratch and Rockwell-C adhesion tests". **Thin Solid Films** **270** (1995) 431 -438
- Hetrick EM, Schoenfisch MH. 2006. "Reducing Implant-related infections: Active release strategies". **Chem. Soc. Rev.** **35** .780-789.
-



- Hill JW. 2009. “Colloidal silver medical uses, toxicology & manufacture.3rd ed. Clear Springs Press, Rainier. WA (USA) ISBN :1884979084
- Jehn H, Reiners G , Siegel N.1993.”DIN Fachbericht 39, Characterisierung dunner Schichten”. **Beuth Verlag.**
- Jiang X, Yang FC, Chen WC, Lee JW, Chang CL.2017. “Effect of nitrogen-argon flow ratio on the microstructural and mechanical properties of AlSiN thin films prepared by high power impulse magnetron sputtering”. **Surface & Coatings Technology**
- Kopeliovich, Dmitri. 2013. **Black Copper Oxide Coating.** <URL:http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=black_copper_oxide_coating>
- Kumar VV, Anbarasan S, Christena LR, Nagarajan SS, Anthony SP.2014. “Spectrochim” . **Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.** 129, 35 -42.
- Lackner JM, Waldhauser W. “Adhesion Improvement of PVD Coatings by Plasma Treatment With Linear Anode Layer Ion Sources”. Joanneum Research Forschungsgessellschaft GmbH, Niklasdorf, Austria.
- Lalueza P, Monzon M, Arruebo M, Santamaria J. 2011. “Bactericidal effects of different silver-containing materials”. **Mater. Res. Bull.** 46. 2070-2076
- Lidgren L, Knustson K, Stefansdottir A. “Infection and Arthritis : Infection of Prosthetic Joints”. **Best Pract Res Clin Rheumatol.** 17(2) :209-18.
- Martin PM. 2011.**Introduction to Surface Engineering and Functionally Engineered Materials.**
-



- Merve T, Nilufer S, Isik GY, Sefik S. 2011. “Synthesis, characterization and antibacterial investigation of silver-copper nanoalloys”. **J. Mater. Chem.** **21**.
- Olympus. 2013. **Roughness (3D) parameter**. <URL: http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/>
- Olympus.2013. **Roughness (2D) parameter**. <URL: http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/2d_parameter/>
- Pascual R, Cruz LR, Ferreira, Gomes DT.1989. “Thin Film Thickness Measurement Using the Energy Dispersive Spectroscopy Technique In A Scanning Electron Microscope”. **Thin Solid Films**, 185(1990) 279-286
- Quin GF, Li ZY, Chen XD, Russel AB. 2002. “An experimental study of an NaClO Generator for anti-microbial applications in the food industry”. **J. Food Eng.** **54** .111-118
- Raghupathy Y, Natarajan KA, Srivastava C. 2016. “Anti-corrosive and anti-microbial properties of nanocrystalline Ni-Ag Coatings”. **Materials Science and Engineering B**.
- Ravelin J.1869. “Chemistry of vegetation. **Sic Nat** 11:93-102
- Rebelo R, Manninen NK, Fialho L, Henriques M, Carvalho S. 2016. “Morphology and oxygen incorporation effect on antimicrobial activity of silver thin films”. **Applied Surface Science**, Volume 371, p 1-8
-



- Rena G., Hub D., Cheng EWC, Vargas-Reus MA, Reip P, Allaker RP.2009. “Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications”. **Int. J. Antimicrob. Agents.** 33, 587 – 590
- Ruparelia JP, Chatterjee AK, Duttagupta SP, Murkherji S.2008. “Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles”. **Acta Biomaterialia**, 4(3):707
- Russel AD, Hugo WB. 1994. “7 antimicrobial activity and action of silver”. **Prog. Med. Chem.** 31 (1994) 351-370
- Sambhy V, MacBride MM, Peterson BR, Sen A. 2006. “Silver bromide nanoparticle/polymer composites : dual action tunable antimicrobial materials”. **J. Am. Chem. Soc.** 128 .9798-9808
- Sun Y, Rogers JA. 2007. “Inorganic Semiconductors for Flexible Electronics”. **Adv.Mater.** 19. 1897-1916
- Szymanski P, Fraczek T, Markowicz M, Mikiciuk-Olasik E. 2012. “Development of copper based drugs, radiopharmaceuticals and medical materials” **.Biometals.** 25(6).
- Vale.Tembaga.<URL:<http://www.vale.com/indonesia/BH/business/mining/copper/Pages/default.aspx>>
- Wojcieszak D, Mazur M, Kalisz M, Grobelny M. 2016. “Influence of Cu, Au, and Ag on structural and surface properties of bioactive coatings based on titanium”. **Materials Science and Engineering C.**
- Wu M, Chang L, Zhang L, He X, Qu X.2015. “Effects of roughness on the wettability of high temperature wetting system”. **Surface & Coatings Technology.** 287 (2016) 145-152.
-



Yang CH, Lee SC, Wu JM, Lin TC.2005. “The properties of copper films deposited on polyimide by nitrogen and oxygen plasma pre-treatment”. **Applied Surface Science** 252 (2005) 1818-1825

Zhao GQ, Ye LH, Huang YC, Yang DK, Li L, Xu G, Lei YJ. 2001 . “In Vitro model of bacterial biofilm formation on polyvinyl chloride biomaterial”. **Cell Biochem. Biophys.** 61 .371-376



LAMPIRAN A

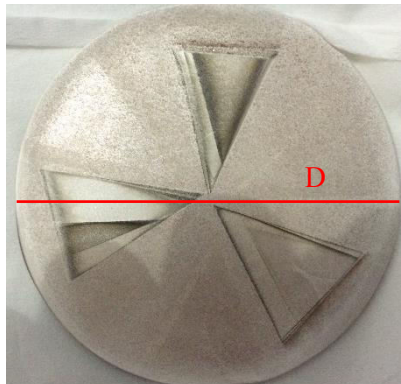
PERHITUNGAN LUAS AREA TARGET

A. Mencari luas area target A_g :

$$\text{Luas Target } A_g (A_{Ag}) = \frac{1}{4} D^2 \pi$$

D = Diameter A_g (cm²)

Diameter A_g (D_{Ag}) = 75 mm = 7,5 cm



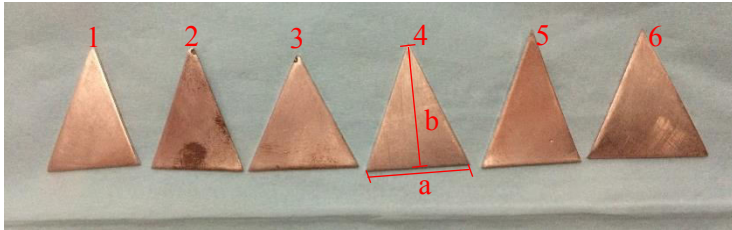
Gambar 1 Material Target A_g

Luas Target A_g (A_{Ag}) = 44,17864 cm²



B. Mencari Luas Area Target Cu

$$\text{Luas Target Cu } (A_{Cu}) = \frac{1}{2} \times \text{Alas } (a) \times \text{tinggi } (b)$$



Gambar 2 Material target Cu

Tabel 1 Perhitungan luas area target Cu

No	a (cm)	b (cm)	A_{Cu} (cm ²)
1	2	2,2	2,2
2	2	2,2	2,2
3	2,5	2,5	3,125
4	2,35	2,75	3,23125
5	2,2	3	3,3
6	2,7	2,9	3,915

Tabel 2 Pengelompokan Target Cu

Variasi	Target Cu	A Total (cm)
a	1,2,3,4,5,6	17,97125
b	3,4,5,6	13,57125
c	2,4,5	8,73125

Keterangan :

Variasi a : Ag 60%, Cu 40 %

Variasi b : Ag 70%, Cu 30 %

Variasi c : Ag 80 %, Cu 20%



C. Merangkai Area Target



(a)



(b)



(c)

Gambar 3 Rangkaian Area Target

Keterangan :

Variasi a : Ag 60%, Cu 40 %

Variasi b : Ag 70%, Cu 30 %

Variasi c : Ag 80 %, Cu 20%



Tabel 3 Perhitungan persentase luas area target

Variasi	Total Luas area	Cu (cm)	Ag (cm)	Cu (%)	Ag (%)
a	44,178	17,97125	26,20675	40,67918	59,32082
b		13,57125	30,60675	30,71948	69,28052
c		8,73125	35,44675	19,7638	80,2362



LAMPIRAN B

PERHITUNGAN KEMAMPUAN ANTIMICROBIAL

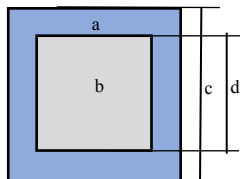
Mencari kemampuan inhibisi material

$$\text{Jarak Inhibisi } (x, y) = \frac{\text{Panjang Inhibisi } (x_i, y_i)}{2} - \frac{\text{Panjang Spesimen } (X, Y)}{2}$$

$$\text{rata - rata Inhibisi} = \frac{(\text{Jarak Inhibisi } x + \text{Jarak Inhibisi } y)}{2}$$



Gambar 4 Area inhibisi spesimen



Keterangan :

- a. Zona Bening
- b. Spesimen
- c. Panjang Inhibisi (x_i, y_i)
- d. Panjang Spesimen (X, Y)



Tabel 4 Perhitungan kemampuan antimicrobial

No	Panjang spesimen (cm)		Inhibisi (cm)		Jarak Inhibisi (cm)		Inhibisi (cm)	rata rata (cm)
	X	Y	xi	yi	x	y		
1	1,24	1,24	1,6	1,77	0,4	0,53	0,2325	0,2375
	1,24	1,24	1,7	1,76	0,41	0,52	0,2325	
	1,24	1,24	1,7	1,77	0,46	0,53	0,2475	
2	1,13	1,3	1,5	1,6	0,37	0,3	0,1675	0,159167
	1,13	1,3	1,4	1,61	0,31	0,31	0,155	
	1,13	1,3	1,5	1,6	0,32	0,3	0,155	
3	1,15	1,12	1,8	1,66	0,62	0,54	0,29	0,299167
	1,15	1,12	1,8	1,72	0,61	0,6	0,3025	
	1,15	1,12	1,8	1,72	0,62	0,6	0,305	
4	1,12	1,15	1,6	1,5	0,45	0,35	0,2	0,1975
	1,12	1,15	1,6	1,51	0,44	0,36	0,2	
	1,12	1,15	1,5	1,5	0,42	0,35	0,1925	
5	1,22	1,27	1,8	1,94	0,62	0,67	0,3225	0,3025
	1,22	1,27	1,8	1,82	0,61	0,55	0,29	
	1,22	1,27	1,8	1,86	0,59	0,59	0,295	
6	1,21	1,2	1,4	1,33	0,16	0,13	0,0725	0,074167
	1,21	1,2	1,4	1,36	0,16	0,16	0,08	
	1,21	1,2	1,4	1,34	0,14	0,14	0,07	

Keterangan:

1 : Variasi luas area target, Ag 60% Cu 40%

2 : Variasi luas area target, Ag 70%, Cu 30%

3 : Variasi luas area target, Ag 80%, Cu 20%

4 : Variasi tekanan gas Nitrogen, $P = 0,5 \times 10^{-3}$ mbar

5 : Variasi tekanan gas Nitrogen, $P = 1 \times 10^{-3}$ mbar

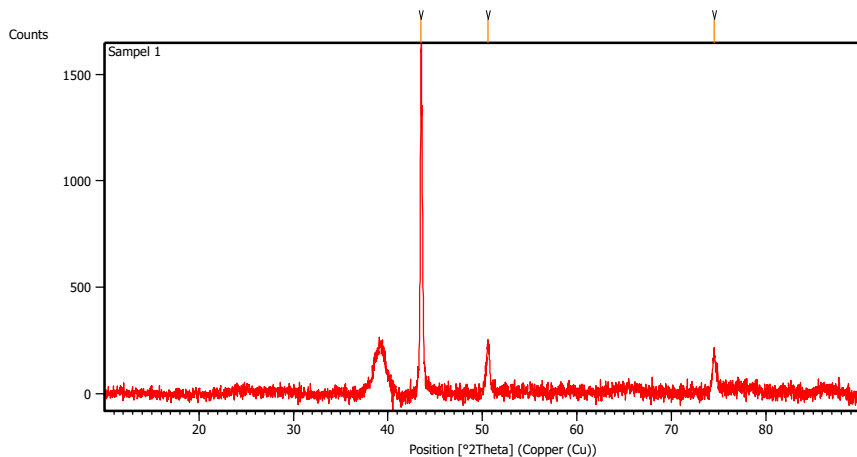
6 : Variasi tekanan gas Nitrogen, $P = 1,5 \times 10^{-3}$ mbar



LAMPIRAN C

HASIL XRD

Hasil Sampel 1

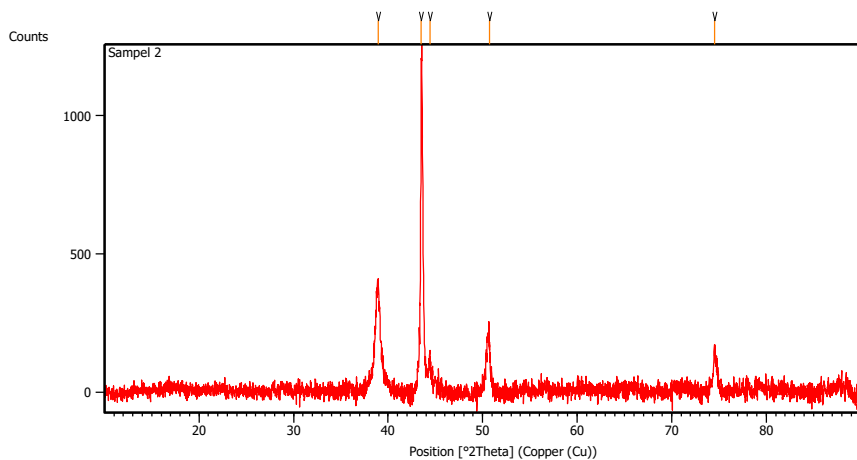


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.5165	1613.89	0.1338	2.07973	100.00
50.5696	239.44	0.1673	1.80498	14.84
74.5598	168.75	0.2676	1.27278	10.46



Hasil Sampel 2

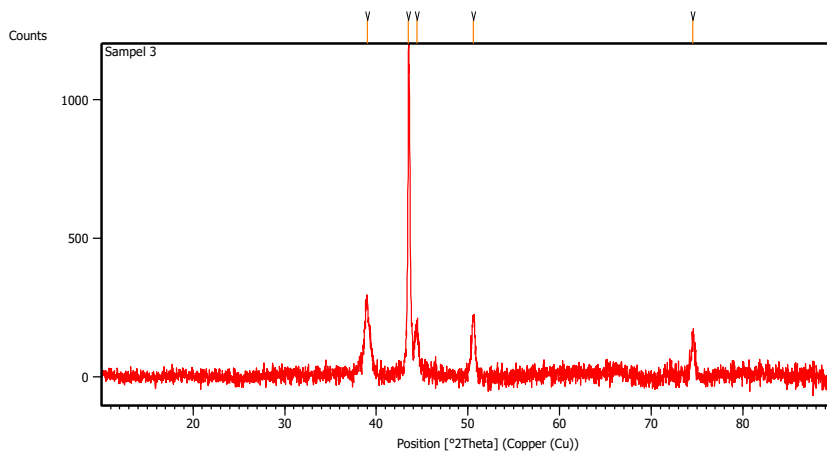


Peak List.

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.9374	370.47	0.2342	2.31310	30.23
43.5176	1225.53	0.1004	2.07968	100.00
44.4395	120.34	0.1673	2.03865	9.82
50.7005	187.74	0.1673	1.80062	15.32
74.5257	159.57	0.1004	1.27328	13.02



Hasil Sampel 3

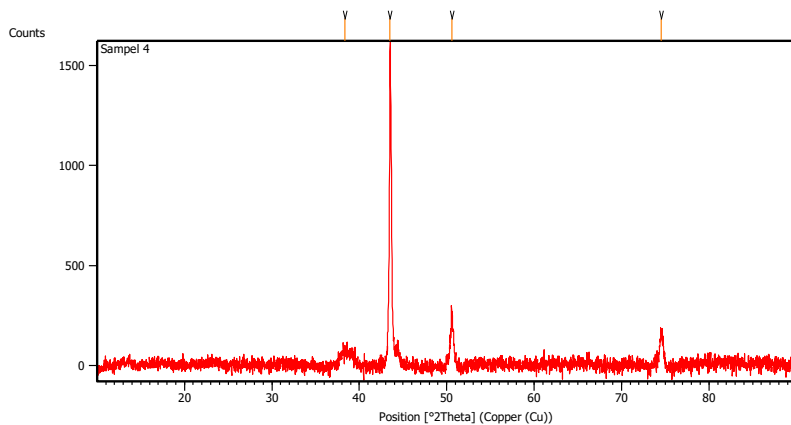


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
39.0099	279.42	0.2007	2.30896	23.64
43.5177	1181.85	0.1004	2.07967	100.00
44.4268	183.48	0.3346	2.03921	15.53
50.5994	221.60	0.3346	1.80398	18.75
74.5620	146.29	0.2676	1.27275	12.38



Hasil Sampel 4

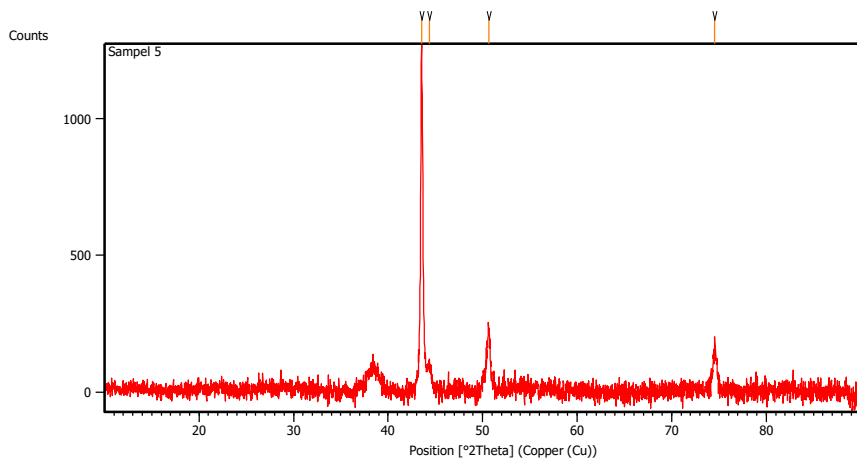


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.3654	88.76	0.9368	2.34626	5.55
43.5208	1599.95	0.0836	2.07953	100.00
50.5814	283.22	0.1673	1.80458	17.70
74.5155	196.93	0.2007	1.27343	12.31



Hasil Sampel 5

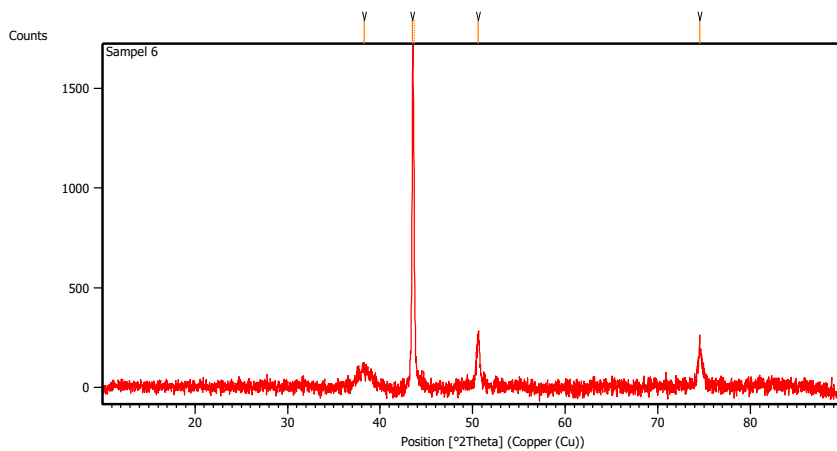


Peak List

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
43.5413	1274.23	0.1338	2.07860	100.00
44.4037	102.52	0.3346	2.04021	8.05
50.6347	233.98	0.1673	1.80281	18.36
74.5104	157.78	0.3346	1.27351	12.38



Hasil Sampel 6

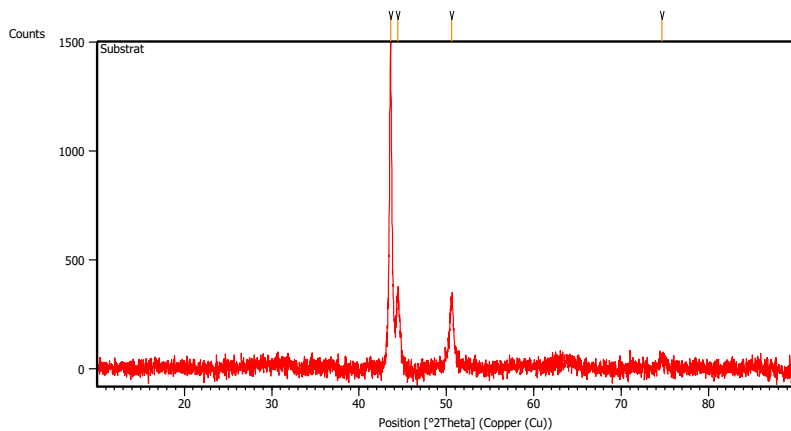


Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
38.2585	92.15	0.4015	2.35257	5.74
43.5209	1604.12	0.1224	2.07781	100.00
43.6622	1141.38	0.0612	2.07656	71.15
50.6002	262.57	0.3672	1.80246	16.37
74.5132	231.36	0.1224	1.27241	14.42



Hasil Sampel Substrat



Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.6033	1515.76	0.0836	2.07579	100.00
44.4261	355.45	0.1673	2.03924	23.45
50.6210	303.19	0.3346	1.80326	20.00
74.6418	52.82	0.5353	1.27159	3.48



Data JCPDS

VERSION: 4

COMMENT: FCC iron (JCPDS 4-0829, EOS from Shen)

K0: 176.000

K0P: 5.00000

SYMMETRY: CUBIC

A: 3.59500

ALPHAT: 0.000000

DIHKL:	2.0760	100.	1.00	1.00	1.00
DIHKL:	1.7950	100.	2.00	0.00	0.00
DIHKL:	1.2710	100.	2.00	2.00	0.00
DIHKL:	1.0840	100.	3.00	1.00	1.00
DIHKL:	1.0380	100.	2.00	2.00	2.00
DIHKL:	0.8990	100.	4.00	0.00	0.00
DIHKL:	0.8040	100.	4.00	2.00	0.00
DIHKL:	0.7340	100.	4.00	2.00	2.00
DIHKL:	0.6920	100.	5.00	1.00	1.00

VERSION: 4

COMMENT: Copper FCC (JCPDS 04-0836)

SYMMETRY: CUBIC

A: 3.615

ALPHAT: 0.000000

DIHKL:	2.088	100.	1.00	1.00	1.00
DIHKL:	1.808	46.	2.00	0.00	0.00
DIHKL:	1.278	20.	2.00	2.00	0.00
DIHKL:	1.09	17.	3.00	1.00	1.00
DIHKL:	1.0436	5.	2.00	2.00	2.00



Reference code: 00-004-0836

Mineral name: Copper, syn
Compound name: Copper
Common name: α -brass

Empirical formula: Cu
Chemical formula: Cu

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08800	43.298	100.0
2	2	0	0	1.80800	50.434	46.0
3	2	2	0	1.27800	74.133	20.0
4	3	1	1	1.09000	89.934	17.0
5	2	2	2	1.04360	95.143	5.0
6	4	0	0	0.90380	116.923	3.0
7	3	3	1	0.82930	136.514	9.0
8	4	2	0	0.80830	144.723	8.0



Reference code: 00-003-0931

Compound name: Silver

Empirical formula: Ag

Chemical formula: Ag

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.32000	38.784	100.0
2	2	0	0	2.05000	44.142	90.0
3	2	2	0	1.44000	64.678	80.0
4	3	1	1	1.22000	78.306	80.0
5				1.18000	81.506	60.0

VERSION: 4

COMMENT: Silver (04-0783, shock wave)

K0: 120.800

K0P: 4.84000

SYMMETRY: CUBIC

A: 4.08620

ALPHAT: 0.000000

DIHKL:	2.3590	100.	1.00	1.00	1.00
DIHKL:	2.0440	52.	2.00	0.00	0.00
DIHKL:	1.4450	32.	2.00	2.00	0.00
DIHKL:	1.2310	36.	3.00	1.00	1.00
DIHKL:	1.1760	12.	2.00	2.00	2.00
DIHKL:	1.0215	6.	4.00	0.00	0.00
DIHKL:	0.9375	23.	3.00	3.00	1.00
DIHKL:	0.9137	22.	4.00	2.00	0.00
DIHKL:	0.8341	23.	4.00	2.00	2.00

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Maulana Malik Sadiqun, lahir di Jakarta pada tanggal 17 Maret 1995 dari ayah bernama Jazni Rusli dan ibu bernama Dewita Bahari. Penulis adalah putra keempat dari lima bersaudara dan telah menempuh Pendidikan formal di SMPN 19 Jakarta, lalu SMAN 90 Jakarta. Penulis melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Material melalui tes SBMPTN 2013. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan kepantiaan di kampus antara lain *co-founder* dan *President* Indonesian Corrosion Association (INDOCOR) ITS Student Chapter selama dua kepengurusan (2015/16 dan 2016/17), Kepala divisi bagian Internal UKM Musik ITS 2014/15, Staff Hubungan Luar BEM ITS 2014/15. Penulis pernah menginisiasi kegiatan sertifikasi *Corrosion Engineer Level 1* yang diadakan oleh INDOCOR ITS SC, membentuk kerja sama antara Departemen Teknik Material FTI ITS dan INDOCOR. Selain itu, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium untuk praktikum Fisika Dasar, Asisten Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan untuk praktikum korosi. Penulis memiliki pengalaman kerja praktisi atau magang di dua perusahaan, yaitu *CLADTEK International* sebagai *Material Engineer Assistant* yang menangani *Material Test Certificate* dan *Welding Design*, dan juga *Schlumberger* sebagai *Field Engineer Vacation Trainee*.